

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky**

**Bezdrátové technologie s nízkou úrovní energie  
Low Power Wireless Technologies**

**2013**

**Jiří Zifčák**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Jiří Zifčák**

Studijní program:

**B2647 Informační a komunikační technologie**

Studijní obor:

**2612R059 Mobilní technologie**

Téma:

**Bezdrátové technologie s nízkou úrovní energie  
Low Power Wireless Technologies**

Zásady pro vypracování:

Tato práce má rešeršní charakter. Cílem práce je vytvořit návod na praktické cvičení pro předmět Přístupové sítě na výukovém systému Tims. Práce bude splňovat následující zadání:

1. Popište situaci mezi bezdrátovými technologiemi v oblasti PAN.
2. Podrobně popište technologii UWB.
3. Sestavte a realizujte měření na výukovém systému Tims.
4. Vytvořte návod na cvičení a zpracujte protokol z měření.

Seznam doporučené odborné literatury:


Podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

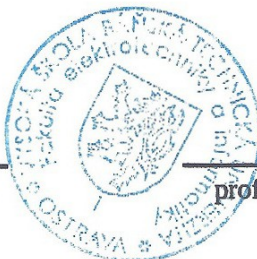
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

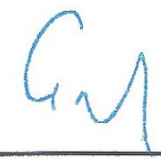
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Přemysl Mer, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 3. 5. 2013



.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Přemyslu Merovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá koncepcí sítí PAN (WPAN) a zejména popsání určitých technologií které sem spadají. Jsou zde popsány technologie Bluetooth, ZigBee, Z-Wave a WirelessUSB. Zvláštní kapitola je věnována technologii UWB. Zde se budu podrobněji věnovat UWB, jako je popis používaných pulsu, historie, regulace a normy EC a možné uplatnění na trhu. Na tuto technologii jsem následně prováděl měření na výukovém zařízení TIMS. Z poznatků, které jsem takto získal, bylo sestaveno zadání na měření a následně vzorově vypracován protokol.

## **Klíčová slova**

UWB, PAN, WPAN, TIMS, ultra-širokopásmové

## **Abstract**

This thesis deals with the concept of networks PAN (WPAN) and particularly describing the specific technologies that belong to here. I described these technologies: Bluetooth, ZigBee, Z-Wave and WirelessUSB. A special chapter is devoted to UWB technology. Here I will in detail concern with the UWB, such as the description of the pulse, history, regulation and standards EC and possible use on market. On this technology I subsequently took measurements on instructional devices TIMS. In the end I compiled assignment for measurement and worked out specimen protocol.

## **Key words**

UWB, PAN, WPAN, TIMS, ultra-wideband

# Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
U	V	Napětí
I	A	Proud
f	Hz	Frekvence
P	W	Výkon
l	m	Délka
t	s	Čas

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglický význam	Český význam
<b>PAN</b>	Personal Area Network	Osobní síť
<b>WPAN</b>	Wireless Personal Area Network	Bezdrátová osobní síť
<b>IEEE</b>	The Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
<b>USB</b>	Universal Serial Bus	Universální sériová sběrnice
<b>WUSB</b>	Wireless Universal Serial Bus	Bezdrátová universální sériová sběrnice
<b>ISM</b>	Industry Science and Medical	Průmysl, věda a lékařství
<b>SIG</b>	Special Interest Group	Zvláštní zájmová skupina
<b>FHSS</b>	Frequency Hopping Spread Spectrum	Kmitočtové skákání rozprostřeného spektra
<b>GFSK</b>	Gaussian Frequency Shift Keying	Gaussové frekvenční klíčování posuvem
<b>TDD</b>	Time Division Duplex	Časově dělený duplex
<b>BLE</b>	Bluetooth Low Energy	Bluetooth s nízkou úrovní energie
<b>O-QPSK</b>	Offset Quadrature Phase-shift keying	Ofsetové čtyřfázové klíčování fázovým zdvihem
<b>BPSK</b>	Binary Phase Shift Keying	Binární fázové klíčování
<b>DSSS</b>	Direct Sequence Spread Spectrum	Technika přímého rozprostření spektra
<b>CSMA/CA</b>	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance	Naslouchání nosné vícenásobného přístupu s detekcí kolize
<b>FFD</b>	Full Functional Device	Plně funkční zařízení
<b>RFD</b>	Reduced Functionality Device	Funkčně redukované zařízení
<b>AES</b>	Advanced Encryption Standard	Pokročilý standard šifrování
<b>MB-OFDM</b>	Multiband Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Vícepásmový ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
<b>UWB</b>	Ultra Wideband	Ultra-širokopásmové
<b>IR-UWB</b>	Impulse Response Ultra Wideband	Impulsní odezva ultra-širokopásmových



<b>MB-UWB</b>	Multiband Ultra Wideband	Vícepásmové ultra-širokopásmové
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission	Federální komunikační komise
<b>EC</b>	European Commission	Evropská komise
<b>TH</b>	Time Hopping	Časový skok
<b>CDMA</b>	Carrier Sense Multiple Access	Naslouchání nosné vícenásobného přístupu
<b>DS-UWB</b>	Direct Sequence Ultra-Wideband	Přímá sekvence ultra-širokopásmových
<b>CMOS</b>	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor	Doplňující se kovo-oxidový polovodič
<b>BPM</b>	Bi-Phase Modulation	Dvoufázová modulace
<b>PPM</b>	Pulse Position Modulation	Pulsně poziční modulace
<b>OOK</b>	On-Off Keying	On-Off klíčování
<b>OPM</b>	Orthogonal Phase Modulation	Ortogonální fázová modulace
<b>PAM</b>	Pulse Amplitude Modulation	Pulsně amplitudová modulace
<b>PSD</b>	Power Spectral Density	Spektrální hustota výkonu
<b>CEPT</b>	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations	Konference evropských správ pošt a telekomunikací
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunication System	Universální mobilní telekomunikační systém
<b>GPS</b>	Global Position System	Globální poziční systém
<b>MHP</b>	Modified Hermite Pulse	Modifikovaný hermitovská puls
<b>VCO</b>	Voltage Controlled Oscillator	Napětím řízený oscilátor
<b>TIMS</b>	Telecommunication Instructional Modelling System	Telekomunikační vzdělávací modelový systém

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Technologie v koncepci PAN (Personal Area Network).....	2
2.1	Koncepce sítí PAN.....	2
2.2	Bluetooth .....	3
2.2.1	Základní parametry technologie Bluetooth.....	3
2.2.2	Standardy Bluetooth .....	4
2.3	ZigBee .....	5
2.3.1	Základní parametry technologie ZigBee.....	5
2.4	Wireless USB.....	6
2.4.1	Základní parametry.....	6
2.5	Z-Wave.....	7
2.5.1	Základní parametry.....	7
3	Popis technologie UWB .....	9
3.1	Historie.....	9
3.2	Druhy UWB.....	9
3.2.1	IR-UWB (ImpulseResponse UWB) .....	9
3.2.2	MB-UWB (Multiband UWB) .....	10
3.3	Gausové pulzy v UWB.....	10
3.3.1	Modulace UWB pulzů .....	12
3.4	Možné uplatnění.....	13
3.5	Současnost a regulace.....	14
3.6	Pár slov na závěr .....	15
4	Sestavení a realizace na výukovém zařízení Tims .....	16
4.1	Úvod k měření .....	16
4.2	Popis použitých modulů .....	17
4.3	Postup měření a naměřené hodnoty .....	19
5	Závěr.....	29
	Použitá literatura.....	30
	Seznam příloh.....	XXXII

# 1 Úvod

Tato práce má za úkol seznámit čtenáře s koncepcí sítí PAN (Personal Area Network) s technologiemi v dané oblasti a sestavení praktických úloh na měření.

Na úvod se budu zabývat sítěmi PAN, tedy obecná charakteristika a základní vztahy v této oblasti. Také se zde zmíním o technologiích, které do této koncepce spadají. Jedná se o technologie známější a některé z nich v současné době hojně využívané jakou jsou: Bluetooth, ZigBee, Wireless USB, Z-Wave. Jako poslední kapitolu v teoretické části, o které zde budu psát je technologie UWB (Ultra-wideband). Tou se budu zabývat podrobněji než o předchozích technologiích a to zejména proto, že na ní budou sestavené měření pro studenty.

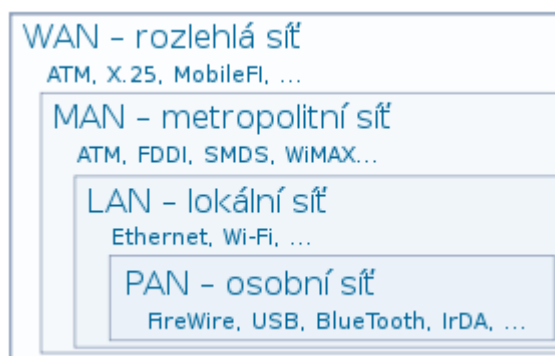
Nyní již v praktické části práce, budu provádět hlavně měření, na jehož základě budou sestaveny úlohy pro studenty do předmětu Přístupové sítě. Měření bude probíhat na výukovém zařízení Emona Tims a to jak na hardwarové verzi, tak na verzi softwarové. Na úvod každé kapitoly stručně popíšu jednotlivé verze výukového zařízení a následně přejdu na měření. Výsledkem pak bude sestavení protokolu a to jak zadání pro studenty tak vzorově řešený protokol. Měření na hardwarové verzi a softwarové verzi budou rozdílná a to zejména v použitých modulech.

## 2 Technologie v koncepci PAN (Personal Area Network)

V této kapitole se budu zabývat jednotlivými technologiemi dané koncepce. Jako první podkapitolu jsem záměrně zvolil popis koncepce PAN. V dalších částech této kapitoly se již budu zabývat popisem jednotlivých technologií.

### 2.1 Koncepce sítí PAN

Sítě PAN (Personal Area Network) volně přeloženo znamená: „Osobní síť“. Tato koncepce nese označení IEEE 802.15. Síť PAN, jsou sítě, které mají za úkol usnadnění při výměně informací a dat v malém okruhu okolo uživatele (většinou jde o místnost). Do této koncepce spadají jak sítě drátové, může jít například o: USB, FireWire, tak sítě bezdrátové, potom se značí WPAN (Wireless Personal Area Network) a potom jde například o: Bluetooth, Wireless-USB, UWB a další. Do jaké oblasti sítí PAN spadají, vzhledem k své rozloze, je patrné z obr. 2.1. [1]



Obrázek 2.1: Rozsah jednotlivých koncepcí sítí [2]

Technologie WPAN je bezdrátová a má dosah desítky maximálně stovky metrů, zaleží na různých faktorech, jako jsou: použitá technologie, vysílací výkon, okolní prostředí a další. Frekvenční pásmo je ve většině případů: 2,4 GHz a spadá tedy do bez licenčního pásma ISM (Industry Science Medical), ale v určitých případech z tohoto pásma značně vybočují, příkladem může být technologie UWB. Přenosové rychlosti se pohybují v rozmezí: desítek kbit/s až po stovky Mbit/s. Uplatnění zařízení najdeme většinou tam, kde nejsou důležité přenosové rychlosti, třeba technologie ZigBee nebo Z-Wave, ale je kladen důraz na nízkou spotřebu energie a tím pádem šetření životnosti baterií zařízení. Rozhodující také mohou být pořizovací náklady, které jsou u určitých technologiích minimální a to zejména díky tomu, že se jedná o standardizované produkty s širokým rozšířením a uplatněním na trhu. Druhou variantou jsou technologie, nabízející vyšší přenosové rychlosti, zde je však již výdrž baterie značně nižší, většinou se jedná o dny, kupříkladu Bluetooth. [1]

Budou zde popsány pouze známější a využívanější technologie jako jsou Bluetooth IEEE 802.15.1 a ZigBee IEEE 802.15.4. Další technologie, které zde také zmíním jsou: Wireless USB (WUSB) a Z-Wave, ale ty budou popsány stručněji. Technologii UWB IEEE 802.15.3 se budu zabývat podrobněji v následující kapitole. [1]

## 2.2 Bluetooth

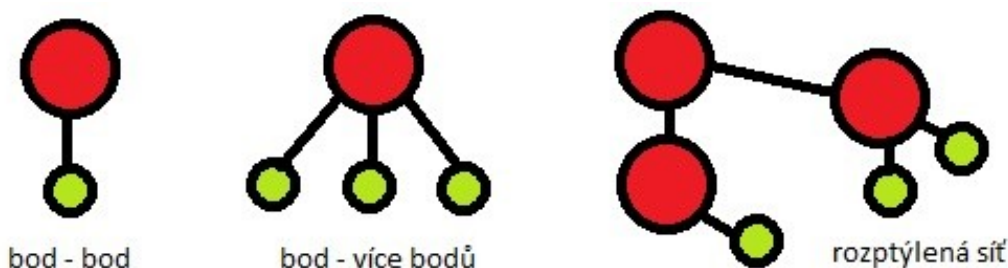
Tato technologie začala vznikat okolo roku 1994, kdy společnost Ericsson dostala nápad na připojení bezdrátového příslušenství k zařízením (zejména telefonům). Z počátku nebylo Bluetooth moc rozšířeno, změna nastala až po roce 2000, kdy skupina zvaná SIG (Special Interest Group), pomohla rozšíření a vývoji. V současné době se technologie těší veliké oblibě, kromě mobilních telefonů je používána v mnoha dalších průmyslových odvětvích a usnadňuje každodenní práci uživatelů. Nyní existuje mnoho standardů této technologie, které se liší zejména přenosovými rychlostmi a dosahem. [5] [6]

### 2.2.1 Základní parametry technologie Bluetooth

Bluetooth pracuje v pásmu 2,4 GHz, jedná se tedy o nelicenční pásmo ISM, toto pásmo je značně ohrožováno jinými technologiemi pracujícími ve stejné kmitočtové oblasti. Bluetooth umožňuje změnu přenosového kanálu na základě skoků zvaných „hop“. Využívá k tomu principu FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). Jako typ modulace byla použita GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying). [5] [6]

Celkově Bluetooth používá 79 kanálů o šířce 1MHz, pracovní pásmo tedy je 2,402-2,480GHz. Každé zařízení může být jak v postavení vysílač tak přijímač. Nesmírně důležitá je také synchronizace vysílací a přijímací části, jelikož dochází ke změně nosné frekvence 1600x za sekundu což má na starosti generátor nosné frekvence, který je řízený synchronizovaným generátorem „hop“ kódů. [5] [6]

Zařízení bluetooth může být jak v režimu „master“ – hlavní zařízení, které inicializuje spojení tak „slave“ – vedlejší. Z toho také plynou způsoby komunikace, které mohou probíhat. Jedná se buď o komunikaci „master“ a jedno „slave“ zařízení, pak se jedná o komunikaci bod-bod (point-to-point) nebo o komunikaci „master“ a až 7 „slave“ zařízení, v tomto případě se jedná o bod-více bodů (point-to-multipoint). Komunikace probíhá pouze mezi „master“ a „slave“ nikoli však mezi jednotlivými „slave“. Může také dojít k vytvoření tzv. „rozptýlené sítě“ (scatternet), a to tím způsobem, že pod „master“ spadají „pikositě“ (piconet) tvořené z jednoho zařízení „master“ a více zařízení „slave“ viz. obr. 2.2. [5] [6]



Obrázek 2.2: Typy spojení bluetooth zařízení [6]

Bluetooth paket může mít celkovou délku až 2871 bitů a skládá se: přístupový kód - 72bitů, záhlaví - 54bitů a užitečná informace 0 – 2745 bitů (obr. 2.3). [5] [6]



Obrázek 2.3: Bluetooth paket [6]

Bluetooth také využívá principu TDD. Čas přenosu je dělen do slotu, který má délku 625 $\mu$ s. Přenos může být jednoslotový, tříslotový nebo pětislotový. V každém slotu se přenáší pouze jeden paket, a to v lichých slotech „master“ a v sudých slotech „slave“. Při změně slotu dojde také ke změně nosné frekvence. Při jednoslotové komunikaci je přenosová rychlost necelých 384 kbit/s a právě použitím vícslotových paketů, lze dosáhnout zvýšení propustnosti. [5] [6]

Dalším důležitým parametrem technologie je výkonnostní profil, odborně zvaný jako třída (Class), který určuje jaký výkon má daná třída, zesílení v dBm a dosah v metrech. Jsou tři třídy tohoto profilu, které jsou uvedeny v tabulce 2.1. [5] [6]

Tabulka.2.1: Výkonnostní profily Bluetooth

Třída:	mW:	dBm:	Dosah: [m]
1	100	20	100
2	2.5	4	10
3	1	0	1

### 2.2.2 Standardy Bluetooth

Kromě tříd u Bluetooth máme také standardy, tedy označení verzí. Jednotlivé verze určují konkrétnější specifikace pro právě danou verzi. [3] [4]

**Bluetooth v1.0** Jedná se o nejstarší verzi, která měla značné problémy se vzájemnou komunikací mezi přístroji. [3] [4]

**Bluetooth v1.2** Již vylepšená verze, opraveny chyby z předchozích verzí. Také zvýšení přenosové rychlosti do 721 kbit/s. [3] [4]

**Bluetooth v2.1** Podporuje předchozí verze a má mnoho vylepšení. Jedná se například o zvýšení přenosové rychlosti až do 2,1Mbit/s, zlepšení bezpečnosti, snížení úspory energie v úsporném režimu. [3] [4]

**Bluetooth v3.0** Tato verze přinesla vylepšení zejména v přenosové rychlosti. Může dosahovat až 24Mbit/s, další výhodou je také vylepšení zabezpečení. [3] [4]

**Bluetooth v4.0** Zatím poslední vydaná verze, která však nenahrazuje předchozí verzi 3.0. Verze 4.0 klade důraz na extrémně nízkou spotřebu známou také pod označením BLE (Bluetooth Low Energy), proto je tato verze také označována jako Bluetooth Smart. Z tohoto důvodu tak nelze očekávat vysoký přenosový a vysílací výkon, ale životnost na malou baterii i několik měsíců. [3] [4]

## 2.3 ZigBee

Tato technologie vznikla v roce 2004 a je v současné době jedna z nejpomalejších, přesto nachází uplatnění a možná ji čeká velká budoucnost. Výhodou je velice nízká spotřeba, vysoká jednoduchost a možnost vytvoření relativně složitých sítí. Díky těmto faktorům může najít uplatnění v podnicích nebo i domácnostech, kde není zapotřebí přenášet velké informace, ale pouze určité řídicí signály, které mohou ovládat nejrůznější spotřebiče. Nese označení IEEE 802.15.4 a spadá pod Zigbee Alliance.[7][8][9][10]

### 2.3.1 Základní parametry technologie ZigBee

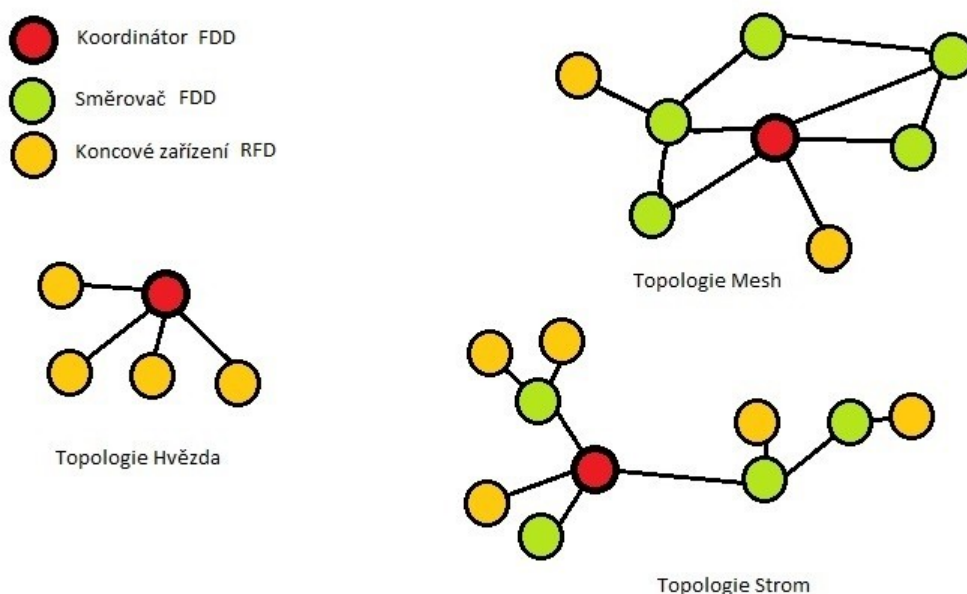
Díky jednoduchosti zařízení je možno provozovat jednoduché provozní protokoly, které nezaberou více než 30kB. Vzhledem k těmto a konstrukčním faktorům vydrží baterie napájet modul několik stovek dní popřípadě i léta. Technologie pracuje globálně v pásmu ISM tedy 2,4 GHz, rozestup kanálů je 3MHz, celkově je tedy v tomto pásmu 16 kanálů. V Evropě je však využíváno pásmo 868MHz a je pro něj využit jediný kanál s rychlostí redukovanou na 20 kbit/s. Celkově se předpokládá větší rozšíření 16 bitového adresování, což by nám umožnilo připojit až 65 535 zařízení. Počítá se i s verzemi které budou mít 64 bitové adresování. Dosah technologie je poměrně malý a pohybuje se v rozmezí 10 – 50 metrů. ZigBee využívá modulaci O-QPSK popřípadě BPSK a pro přenos vzduchem využívá DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) metodu. K přístupu na kanál se využívá metody CSMA/CA. [7][8][9][10]

ZigBee nám umožňuje vytvoření 3 síťových topologií: hvězda, strom a mesh (peer-to-peer). Tyto topologie mohou být ještě rozdílné v tom, že standard ZigBee definuje další funkce pro jednotlivá zařízení (viz níže). V topologii hvězda je možná komunikace pouze mezi koncovým zařízením a hlavním zařízením. Pokud se jedná o topologii mesh, tak zde je možná komunikace každého zařízení s každým, svým způsobem se jedná o komunikaci klient-klient. Poslední topologií je topologie strom. Zde je také možná komunikace mezi jednotlivými koncovými zařízeními, ale data nejdou poslat napřímo mezi nimi, ale musí projít přes tzv. ZigBee směrovače a koordinátory, jak je patrné z obr. 2.4. [7][8][9][10]

#### **Rozdělní funkcí koncových zařízení ZigBee:**

FFD (Full Functional Device) – obsahuje všechny protokoly a služby, většinou se jedná o směrovač a koordinátor. Může také převzít jakoukoliv roli v síti a může komunikovat také s dalšími FFD zařízeními. [7]

RFD (Reduced Functionality Device) – omezené protokoly a služby, z důvodu menší hardwarové náročnosti. Může komunikovat pouze z FFD. [7]



Obrázek 2.4: Topologie ZigBee [7]

Hlavní funkcí koordinátoru je vytvoření sítě s požadovanými vlastnostmi. Je v síti pouze jeden a umožňuje směrování dat, další uzly sítě se připojují pomocí něj nebo pomocí směrovače. Směrovač umožňuje předání patřičných dat na další uzly popřípadě koncová zařízení nebo sběr dat s koncových zařízení. Můžou pod něj spadat další směrovače a koncová zařízení. Je také schopen být zdrojem dat. Koncové zařízení má omezené vlastnosti, může komunikovat pouze skrz koordinátor nebo směrovač. [7][9]

Pro zabezpečení využívá ZigBee kryptografický algoritmus AES (Advanced Encryption Standard), který používá 64 nebo 128 bitové šifrování. [7]

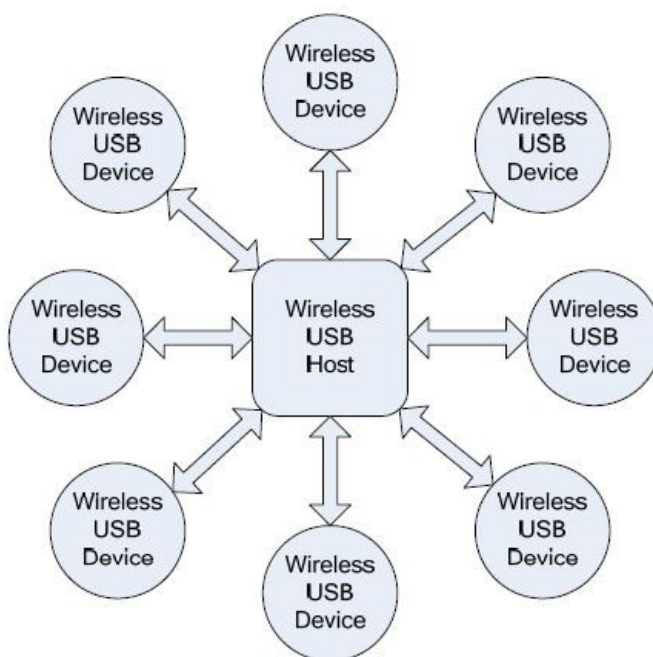
## 2.4 Wireless USB

Jedná se o technologii, která nabízí perfektní přenosové parametry na krátkou vzdálenost. Tato technologie má srovnatelné přenosové rychlosti s USB 2.0 (Universal Serial Bus), tedy 480 Mbit/s při vzdálenosti do 3 metrů. Technologie je postavena na technologii UWB, jejímž autorem je WiMedia Alliance. V roce 2005 byla dokončena verze 1.0. V současné době (2013) je poslední verze 1.1. [11][12]

### 2.4.1 Základní parametry

Technologie využívá hvězdové topologie. Hlavní zařízení, zvané „Wireless USB Host“ (hostitel) komunikuje s periferními zařízeními „Wireless USB Device“ (host). Tyto zařízení mohou být například: tiskárna, kamera, externí úložiště a mnohé další. Celkově je možné pod jedno hlavní zařízení připojit až 127 hostujících zařízení (obr. 2.5). [11][12]





Obrázek 2.5: Topologie WUSB [10]

Využívá principu ultra-širokopásmového připojení (UWB), pracuje tedy ve frekvenční oblasti 3,1 – 10,6 GHz. Rozestup kanálů je 528MHz. Jako modulace je použita MB-OFDM (Multiband Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Výhodou Wireless USB jsou vysoké přenosové rychlosti na krátkou vzdálenost, v ideálních podmínkách mohou dosáhnout až rychlosti USB 2.0, bohužel s rostoucí vzdáleností od hostitele značně klesá přenosová rychlost. Při vzdálenosti 10m je přenosová rychlost „pouhých“ 110Mbit/s. Přenos je zabezpečen pomocí AES-128 (Advanced Encryption Standard), podobné zabezpečení využívají kupříkladu WiFi sítě. Tato technologie zatím není v současné době rozšířená. [11][12]

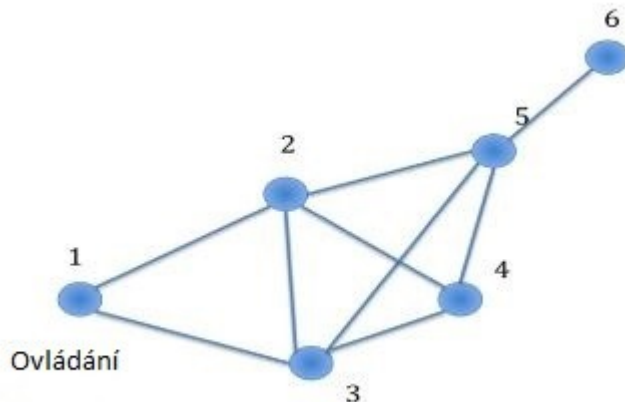
## 2.5 Z-Wave

Tato technologie je v současné době poměrně málo známá. Její hlavní rozšíření se čeká v „chytrých domech“ k ovládání různých zařízení. Celkově je Z-Wave velice podobné technologii ZigBee, liší se však v určitých parametrech, které jsou zmíněny dále. [13]

### 2.5.1 Základní parametry

Z-Wave pracuje v pásmu ISM, v Evropě dokonce ve stejné kmitočtové oblasti jako technologie ZigBee, tedy 868MHz. Využívá však jiný typ modulace, a to GFSK, přenosová rychlost se u nových zařízení pohybuje do 40 kbit/s. U starších typů zařízení je přenosová rychlost pouhých 9,6 kbit/s. Nicméně tato technologie není určena pro přenos velkého objemu informací, ale pro pouhé řídicí signály. Jak již bylo zmíněno největší uplatnění je v „chytrých domech“ pro které již v současné době existuje celá řada zařízení, která využívají tuto technologii. Jako příklad mohu uvést: termostaty, ovládání osvětlení, zámky, zabezpečení a mnohé další. Celkově je již více než 550 druhů certifikovaných zařízení. [13][14][15]

Tato technologie využívá topologie mesh. Je tedy výhodou, že pokud vyšleme signál z ovládacího zařízení (1), který budeme chtít nasměrovat na koncové zařízení (6), tak signál může postupovat pomocí více cest. Například: 1-2-5-6 nebo 1-3-4-5-6 (obr. 2.6). [13][14][15]



Obrázek 2.6: Topologie Z-Wave

Dosah signálu Z-Wave se pohybuje do 30 metrů. Výhodou je také nízká spotřeba a to pouze *1mW*. U zařízení rozlišujeme „Home ID“ (volně přeloženo: domácí identifikace) a „Node ID“ (volně přeloženo: uzlová identifikace). „Home ID“ nám určuje individuální typ sítě a je přednastaven výrobcem (u ovládacích zařízení), využívá 32 bitový klíč, je tedy možno vytvořit přes 4 miliardy sítí. „Node ID“ nám určuje zařízení v síti, třeba žárovka, termostat, atd., celkově je v rámci jedné sítě možno ovládat až 232 zařízení. [13][14][15]

## 3 Popis technologie UWB

V současnosti (2013) není zatím technologie tolik známá, i když se o ní již delší dobu mluví jako o technologii s velkým množstvím uplatnění a hlavně vysokými přenosovými rychlostmi a nízkou úrovní signálu na krátkou vzdálenost. Technologie UWB (Ultra wide-band), jak již název napovídá, využívá extrémně velkého frekvenčního spektra. Ve volném překladu jde říct, že se jedná o ultra-širokopásmovou technologii. Tato technologie využívá spektrum v rozmezí 3,1 – 10,6 GHz. Z toho, ale také plynou problémy, které v současnosti brzdí rozvoj této technologie. Je tím zejména teoretická možnost rušení jiných signálů napříč spektrem, což je předmětem dlouhých studií.[17]

UWB se dále rozděluje na IR-UWB (Impulse Response Ultra Wide-band) a MB-UWB (Multi-band Ultra-wideband).[17]

### 3.1 Historie

Za úplně první náznaky technologie UWB se dá považovat Marconiho jiskrový telegraf, který uskutečnil na počátku dvacátého století první přenos zprávy přes Atlantik. Technologie se však začala více vyvíjet až v období druhé světové války. Zde nacházela především uplatnění jako obranný systém u ponorek. [17][21]

V minulosti se technologie zkoumala především pro vojenské účely a až do sedmdesátých let dvacátého století byla technologie utajována. Za zlomový moment se dá považovat zveřejnění patentu: „*Transmission and reception system for generating and receiving base band durativ pulse signals without distortion for short base-band pulse communication system, U.S. Patent 3 728 632, Apr. 17, 1973*“ [17], kde se poprvé o technologii zmiňuje v civilním sektoru. [17] [21]

V devadesátých letech dvacátého století byly přesně definovány rozdíly mezi radiovými systémy a systémy využívající ultra-široko pásmových sítí, konkrétně bylo vše popsáno ve zprávě Defense Advanced Research Projects Agency. Tento okamžik je také spojován s prvním označením technologie jako UWB. [17] [21]

Na počátku dvacátého prvního století, se o této technologii začalo uvažovat, jako o ideální volbě na rychlý přenos dat na krátkou vzdálenost. Myšlenka byla maximální redukce všech nepotřebných kabelů. Další velice význačný bod bylo vydání dokumentu: „*FCC Rules, Part 15; FCC 02-48; First Report and order*“ [17], který vydal FCC (Federal Communications Commission) v únoru 2002. [17] [21]

### 3.2 Druhy UWB

Technologie UWB se rozděluje zejména na dvě skupiny: IR-UWB (Impulse Response Ultra Wide-band) a MB-UWB (Multi-band Ultra-wideband). Ty se ve výsledku od sebe velice odlišují jak použitými modulacemi, tak v jakém frekvenčním pásmu pracují.[17][20]

#### 3.2.1 IR-UWB (ImpulseResponse UWB)

Tento druh se objevil jako první. Využívá se zde pro odlišení uživatele pseudonáhodného časového posunu (TH – Time hopping – „časových skoků“) popřípadě ortogonální pseudonáhodné

frekvence. Díky tomu se systémy podobají CDMA. Tyto UWB systémy také bývají označeny jako DS-UWB. [17][20]

Budeme-li chtít vysvětlit impulsní systémy, je k tomu ideální Shannon-Hartleyova rovnice (3.1), která nám určuje kapacitu přenosového systému. [21]

$$C = B * \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.1)$$

Kde:

$C$  = maximální přenosová rychlost [bit/s]

$B$  = šířka přenosového pásma kanálu [Hz]

$S$  = výkon šumu [W]

$N$  = úroveň šumu [W]

Z rovnice výše uvedené je patrný vztah, kde s rostoucí šířkou přenosového pásma dochází ke zvýšení přenosové kapacity. Je to lepší způsob na rozdíl od zvyšování výkonu, kde dochází k logaritmickému klesání při snižování poměru výkon signálu/úroveň šumu. Právě na těchto základech je postaven nápad impulsní UWB technologie, tedy velká šířka přenosového kanálu. [17][20][21]

Výhodou impulsních systémů UWB je také fakt, že jejich náročnost na sestavení koncových zařízení není složitá. Je tedy možné je implementovat do malých CMOS čipů. Pro tyto systémy je také charakteristická bifázová pulzní modulace (BPM – Bi-Phase Modulation). [17][20]

Technologie pracuje ve frekvenčních pásmech 3,1-4,85 GHz a 6,2 – 9,7 GHz. Přenosové rychlosti se pohybují v rozmezí 28- 1320 Mbps. [17]

### 3.2.2 MB-UWB (Multiband UWB)

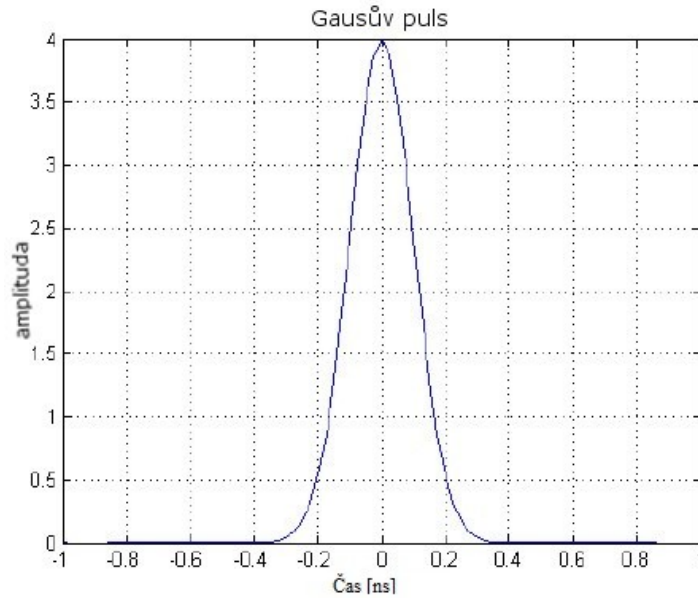
V tomto případě využívá technologie UWB myšlenku, že pro určitou šířku pásma, minimálně 500 MHz a stejné parametry, jako je vysoká datová propustnost a nízká výkonová spektrální hustota, lze dosáhnout pomocí modulačního principu OFDM. [17][20]

Tato metoda využívá frekvenčního pásma 3,1 – 10,6 GHz, je rozdělena na 14 subpásem po 528MHz na každé. Přenosová rychlost se pohybuje v rozmezí 55-480 Mbps, velice záleží na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Dá se říct, že do vzdálenosti cca 3 metry je přenosová rychlost vysoká, následně s každým rostoucím metrem výrazně klesá přenosová rychlost i o desítky Mbps. [17][20]

## 3.3 Gaussovy pulzy v UWB

Základem komunikace v UWB jsou Gaussovy pulsy a jejich následné derivace. Základní jsou Gaussov puls (obr. 3.1), Gaussov monocykl (obr. 3.2), a Gaussov „doublet“ (obr. 3.3). Gaussov puls lze vyjádřit dle rovnice (3.2) [19]

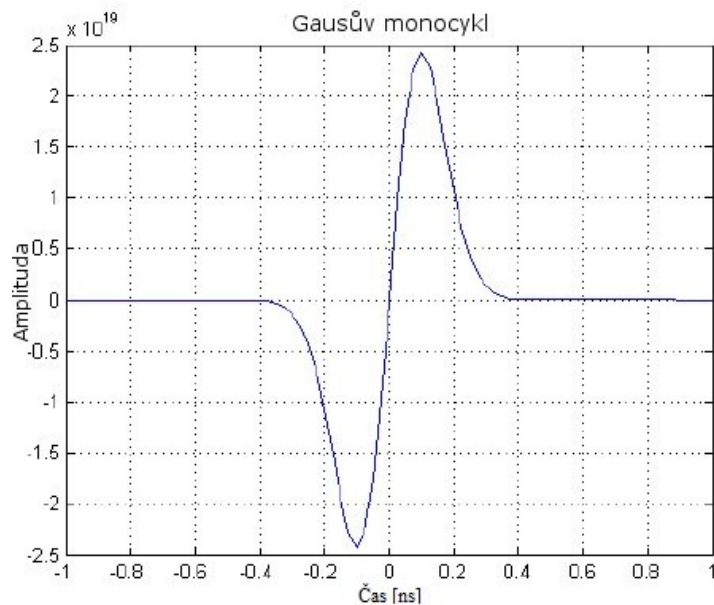
$$w(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (3.2)$$



Obrázek 3.1: *Gausův puls* [19]

Při čemž  $\sigma$  je směrodatná odchylka. Gausův monocykl získáme pomocí první derivace výše zmíněné funkce. Gausův monocykl je možné vyjádřit pomocí rovnice (3.3). [19]

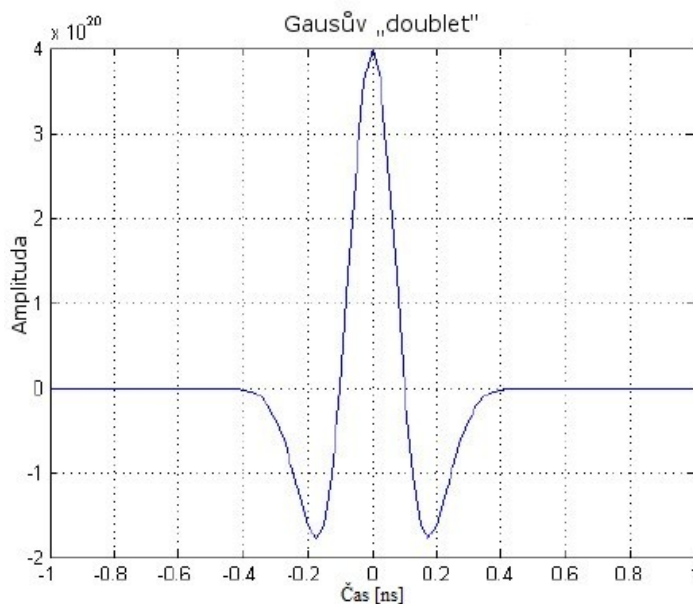
$$w'(t) = A * \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \left( \frac{t}{\sigma^2} \right) \quad (3.3)$$



Obrázek 3.2: *Gausův monocykl* [19]

Kde  $A$  je amplituda pulsu. V případě, že se jedná o kladnou hodnotu, dostaneme negativní průběh, naopak při hodnotě záporné je průběh pozitivní. Poslední z výše zmíněných pulzů je Gaussian „doublet“ ten získáme druhou derivací první rovnice, výsledná rovnice je pak (3.4) [19]

$$w''(t) = A * \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \left( \frac{t^2}{\sigma^2} - 1 \right) \quad (3.4)$$



Obrázek 3.3: Gausův „doublet“ [19]

Gausův „doublet“ je často využíván, díky jeho snadnému vygenerování. [19]

### 3.3.1 Modlace UWB pulsů

Abychom mohli přenášet informace pomocí UWB je k tomu potřeba výše zmíněných pulsů. Ty však sami o sobě k přenosu informace schopné nejsou, proto je důležité je modulovat. Mezi základní modlace se řadí: PPM (Pulse Position Modulation), BPM (Bi-Phase Modulation), PAM (Pulse Amplitude Modulation), OOK (On-Off Keying) a OPM (Orthogonal Phase Modulation). Jejich zobrazení je na obrázku (obr. 3.4). [22]

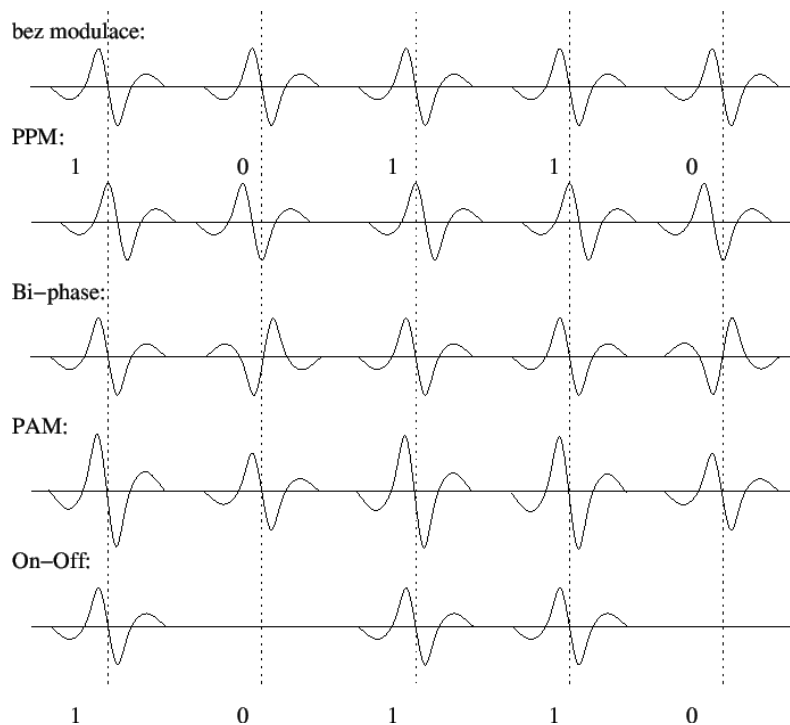
**PPM** – Modlace založena na časovém posunu. Signál je buď zpožděn, nebo naopak vyslán s předstihem, díky tomu lze určit přenášenou informaci. [22]

**BPM** – V tomto případě se jedná o invertování signálu. V případě, že je jeho logická hodnota nulová, dochází k převrácení signálu, pokud je logická hodnota jedna, nedojde k převrácení signálu. [22]

**OOK** – Jedná se o jednoduchý typ modlace, v případě že signál má logickou hodnotu rovnou jedné, dojde k vyslání příslušného pulsu v případě, že logická hodnota je nulová k vyslání nedojde. [22]

**OPM** – V tomto případě jsou různé logické hodnoty zastoupeny různými druhy pulsů. V případě UWB komunikace, pokud bude docházet k přenosu logické jedničky, může být vyslán Gausův monopuls a v případě vyslání logické nuly, může být vyslán Gausův „doublet“. [22]

**PAM** – V tomto případě se pro signál s logickou jedničkou použije větší amplituda a pro signál s logickou nulou menší amplituda. [22]



Obrázek 3.4: Základní modulace UWB pulsů [22]

### 3.4 Možné uplatnění

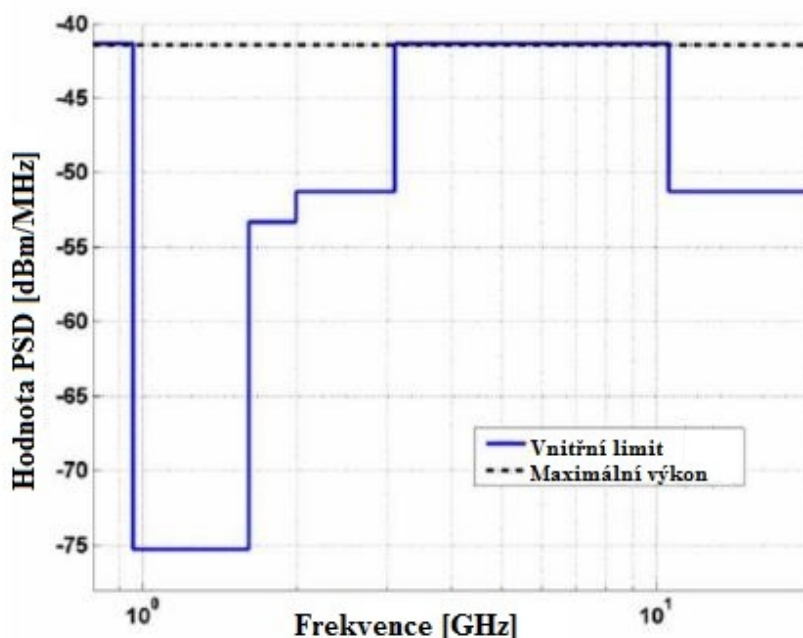
Tato technologie nabízí velice širokou škálu, kde nalezla nebo by mohla nalézt uplatnění.

- 1) Datové komunikace[18][19][20]
  - Zde se nabízí možnost, využití především v domácnostech pro propojení elektroniky jako je: DVD, TV, PC, ...
  - Tyto aplikace jsou také známe pod názvem WUSB (Wireless USB)
  - Tento druh datové komunikace se řadí do koncepce WPAN
- 2) Aplikace pro datovou komunikaci a měření[18][19][20]
  - RFID aplikace
  - Velice přesná lokalizace
  - Pro provoz těchto aplikací se počítá s vnitřním prostředím
- 3) Zobrazení vnitřní struktury těles[18][19][20]
  - Využití v medicíně (sledování dechu u novorozenců, monitorování srdeční činnosti)
  - Zobrazování prostor za překážkou, zobrazování struktury překážek
- 4) Přesná navigace a měření vzdálenosti[18][19][20]
  - Tyto aplikace mohou najít uplatnění v automobilovém průmyslu k zamezení vzniku kolize

- Uplatnění také v průmyslových zařízeních (práce s přesností na méně než jeden centimetr)
- 5) Možnost uplatnění na metalických vodičích[18][19][20]
  - Lze uplatnit jak na koaxiálních kabelech, kroucených párech tak také na vodičích silových rozvodů
  - Vysoké přenosové rychlosti až 1,2 Gbps

### 3.5 Současnost a regulace

Každá nová technologie, musí projít přes komise, aby byla schválena a mohla být použita v provozu. V případě UWB se jako velice důležitý moment dá počítat přijetí dokumentu: „*FCC Rules, Part 15; FCC 02-48; First Report and order*“ [17], Který vydal FCC v únoru 2002. Dále ještě následovaly dokumenty, které vyšly během roku 2003 a 2004. Tyto dokumenty schválily kmitočtovou masku (obr. 3.5), ta umožňovala maximální spektrální hustotu výkonu PSD (Power Spectral Density) - 41,3. dBm/MHz, pro vnitřní prostředí. [17][20]

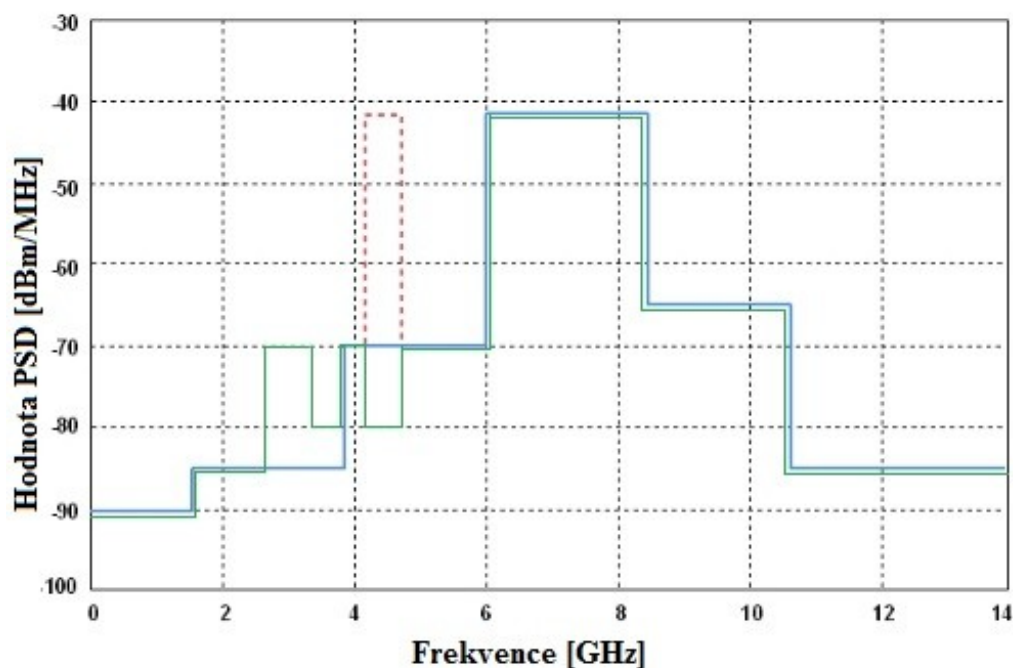


Obrázek 3.5: Kmitočtová maska pro UWB

V roce 2005 země Evropské unie a země CEPT, předložily návrh na úpravu kmitočtové masky. Velký podíl na to měli zařízení GPS (Global Position System) a UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) sítě. Následné práce a měření, které by umožnily provoz, v zemích EU vykonával CEPT. Výsledkem jejich měření byla kmitočtová maska, která měla v průměru o 20 – 30 dB nižší limity, oproti schválené úřadem FCC. [17][20]

V roce 2007 vznikla rozhodnutím EC (European Commission) konečná kmitočtová maska, jejíž hodnoty byly popsány v dokumentu: DEC2007/131/EC. Mírná úprava masky nastala ještě v roce 2009, vydáním dokumentu 2009/343EC. Tato kmitočtová maska je vyobrazena na obr. 3.6. Modře vyobrazena je původní hodnota z roku 2007, zeleně jsou vyobrazeny aktualizované hodnoty z roku 2009. [16][20]





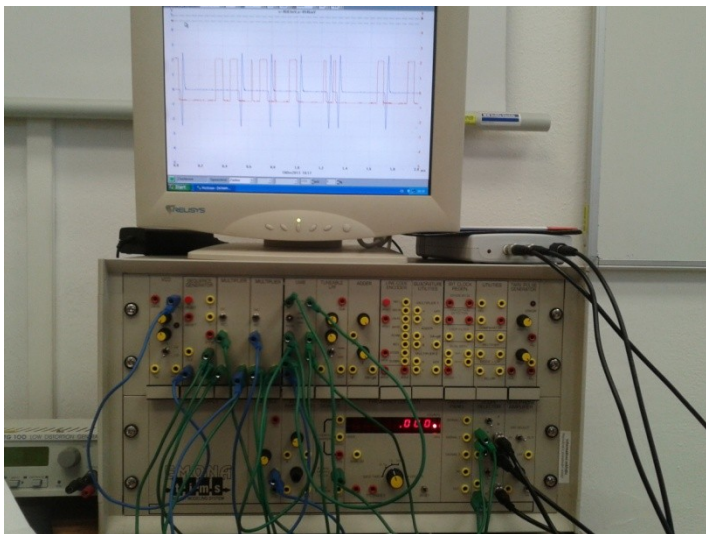
Obrázek 3.6: Kmitočtová maska dle EC z roku 2009 [20]

### 3.6 Pár slov na závěr

Z uplatnění výše napsaných je patrné, jak velkou může mít tato technologie širokou škálu působnosti. Je jen otázka času, kdy se dostane do masivnější výroby a její následné rozšíření na trhu. Bohužel to může být zpomalené patentovými spory výrobců, popřípadě standardizování a schválení určitých norem, které by umožnily rychlejší a rozšířenější využití technologie UWB.

## 4 Sestavení a realizace na výukovém zařízení Tims

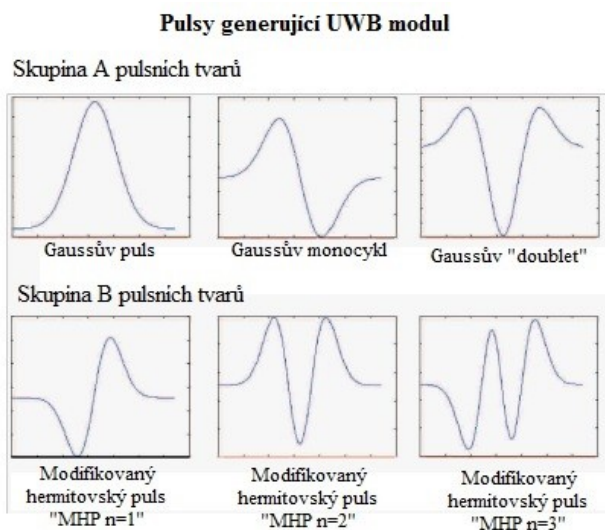
Měření probíhalo na výukovém zařízení EmonaTims (obr. 4.1). Jedná se o systém, kde je možno rozšířit nebo změnit jeho funkce pomocí zásuvných karet. Díky tomu se zařízení stává velice univerzální s velkým množstvím laboratorních úloh, které jdou zde zpracovat. Existuje jak hardwarová verze, tak verze softwarová. Mé měření probíhalo na verzi hardwarové, a to zejména kvůli tomu, že je ve vývoji kupředu oproti verzi softwarové a je zde k dispozici více zásuvných modulů. V mém případě jsem na tomto zařízení zpracoval úlohu z měření UWB signálu.



Obrázek 4.1: Hardwarové výukové zařízení EmonaTims

### 4.1 Úvod k měření

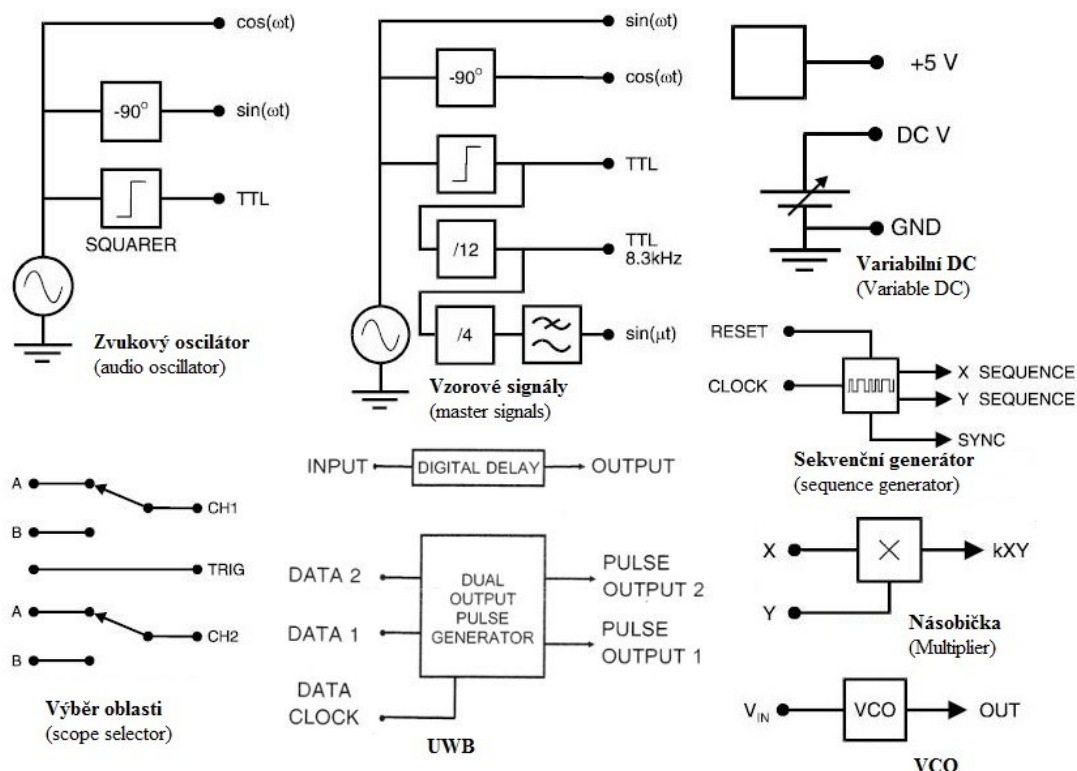
Cílem měření bylo za použití modulu UWB a dalších zásuvných karet vygenerovat charakteristické UWB pulsy (obr. 4.2). Vzhledem k dále uvedeným faktorům jsem vybral pulsy „Gaussův doublet“ a „Modifikovaný hermitovský puls  $n=1$ “.



Obrázek 4.2: Pulsy generující modul UWB [24]

## 4.2 Popis použitých modulů

K sestavení zapojení jsem použil následující moduly: 1x VCO, 1x Sekvenční generátor (sequence generator), 2x Násobička (multiplier), 1x UWB, 1x Variabilní DC (variable DC), 1x Vzorové signály (master signals), 1x Výběr oblasti (scope selector), 1x Zvukový oscilátor (audio oscillator), 1x Čítač frekvence (frequency counter). Jejich blokové diagramy jsou uvedeny na obr. 4.3.



Obrázek 4.3: Blokové schéma použitých modulů [23][24]

**VCO** – je modul, který dokáže pracovat ve dvou režimech. Prvním je VCO (Voltage Controlled Oscillator), ve volném překladu: „napětím řízený oscilátor“ a druhým je FSK Generátor (Frequency-shift Keying) „frekvenční klíčování“. V případě mého měření jsem využil režim VCO, který je dále možno nastavit na nízkou frekvenci: 1,5kHz – 17kHz (na přepínači na přední straně modulu LO) a na vysokou frekvenci: 70kHz – 130kHz (na přepínači na přední straně modulu HI). Pro mé měření jsem využil nízké frekvence. Důležitý je také ovládací prvek  $F_0$ , kterým měníme frekvenci z výše zmíněného rozsahu. Změnou této frekvence dojde k ovlivnění výsledného signálu, který můžeme sledovat na osciloskopu.

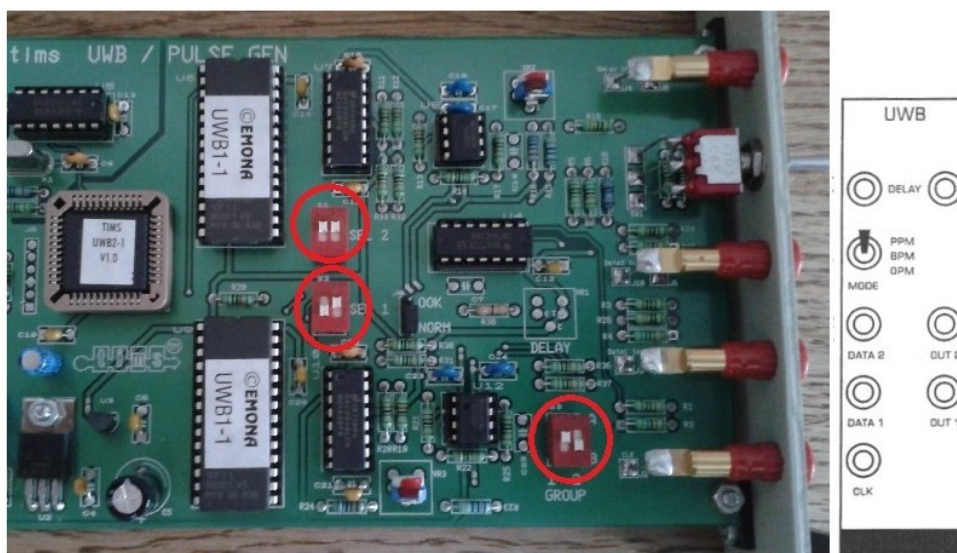
**Sekvenční generátor (sequence generator)** – modul, který dokáže vytvářet náhodnou sekvenci buď analogového nebo TTL signálu. Je řízen vstupem CLK. V mém případě jsem využil signál TTL a na vstup jsem připojil modul VCO. Změnou frekvence se také mění délka vygenerovaného pulsu, čím nižší frekvence, tím je puls delší v časové oblasti.

**Násobička (multiplier)** - modul, který nám umožní znásobit dva vstupní signál dohromady v jeden signál výstupní. Vstup signálu je  $X$  a  $Y$ , kde výstup je  $kXY = k \cdot X(t) \cdot Y(t)$ , při čemž  $k = 0,5$ . Tyto moduly využívám v zapojení dva. První ovlivňuje s pomocí modulu variabilní DC (variable DC) napětíovou úroveň generovaného signálu TTL. Při čemž druhý využívá na svém  $X$  výstup z prvního modulu a na  $Y$  signál z vzorové signály (master signals) 8,3kHz TTL vzorkovací signál. Tímhle nám

vznikne sekvence náhodného signálu TTL, kde můžeme ovlivňovat jeho napětíovou úroveň a četnost výskytu pulzů.

**Zvukový oscilátor (audio oscillator)** – tento modul nám vytváří mimo jiné také signál TTL. Kde je možno nastavit jeho frekvenci v rozmezí od 300Hz do 10kHz. Využijeme po připojení na modul UWB. Tímto modulem následně budeme ovlivňovat četnost změn UWB pulsu (jedniček a nul vygenerovaného signálu). V případě zapojení, které jsem sestavil, se zde tento modul chová jako simulátor toku dat vstupující do modulu UWB.

**UWB** – k tomuto modulu se již připojuje hotové zapojení. Výstupem z tohoto modulu jsou již požadované pulzy, které sledujeme na osciloskopu, popřípadě programu: „PicoScope“. Modul obsahuje následující vstupy, výstupy a přepínače: Na základní desce modulu jsou 3 přepínací prvky, kterými lze nastavit požadovaný generovaný signál. Jedná se o SEL 1, SEL 2 a skupina (group) 1 a 2. Každý z těchto prvků má možnost nastavení určitého signálu. Pomocí skupina (group) 1 a 2 volíme, na kterém výstupu OUT 1 nebo OUT 2 bude mít signál jeden z tvarů, jak je uvedeno na obr. 4.2. Přepínači SEL 1 a SEL 2 signál na daném výstupu modifikujeme dle požadavků. Při čemž nastavení přepínače „horní poloha a horní poloha“, nám vytvoří signál: „Gaussian“ v případě že skupina (group) bude v nastavení: „A“, popřípadě vytvořený signál bude: „MHP  $n=1$ “ (Modified Hermite Pulse, v českém překladu: „modifikovaný hermitovský puls“) v případě že skupina (group) bude v nastavení: „B“. Budou-li přepínače ve stavu „dolní poloha horní poloha“, vytvořený signál bude „Doublet“ v případě nastavení skupina (group) „A“ popřípadě „MHP  $n=3$ “ v případě nastavení skupina (group) „B“. Nastavovací prvky a čelní strana UWB modulu je zachycena na obr. 4.4. Zmíněné pulsy jsou na obr. 4.2. Posledním nastavením, kterým je možné na desce změnit výstupní signál je změna zkratovací propojky „jumper“.



Obrázek 4.4: Základní deska karty UWB a přední panel karty

V mém případě jsem zvolil nastavení SEL 1 „dolní poloha a horní poloha“, SEL 2 „horní poloha a horní poloha“ a v případě skupina (group) je nastavení „A a B“. Tím pádem mám na výstupu OUT 1 signál „Doublet“ a na výstupu OUT 2 signál „MHP  $n=1$ “. Na přední části modulu mám přepínač, kde mohu vybírat typ modulace: PPM, BPM, OOK. Vstupy jsou zde: zpoždění (delay), DATA 2, DATA 1 a CLK. Všechny vstupy pracují s digitálním signálem. Na řídicí vstup CLK připojíme výstup z druhého modulu násobičky (multiplier), čímž dosáhneme, že se nám můžou začít

generovat UWB pulzy. V případě, že by zůstalo jen toto zapojení, nedojde během generování pulsů k žádné změně. Proto je důležité připojit k zpoždění (delay) signál TTL ze zvukového oscilátoru (audio oscillator). Na výstup zpoždění (delay) připojíme na UWB modulu ještě DATA 1 a DATA 2. Tímto se nám začne výstupní signál ovlivňovat a pomocí použitých modulů můžeme měnit čestnost výskytu jak celých pulsů, tak také výskyt a změny jedniček a nul.

**Variabilní DC (variable DC)** – tento modul je napevno připojen v zařízení. Lze na něm nastavit napětí v rozmezí od -2,5V až + 2,5V. Z pomoci tohoto modulu lze sledovat při jaké úrovni se signál UWB rozpadne. Abychom dosáhli, že vygenerovaný TTL signál by byl kladný, musíme mít nastavený na napětí  $U > 0V$ .

**Vzorové signály (master signals)** – modul, který je také připojen napevno. Vytváří nám různé druhy pulsů. V případě mého zapojení využiji výstup 8,3kHz SAMPLE CLOCK.

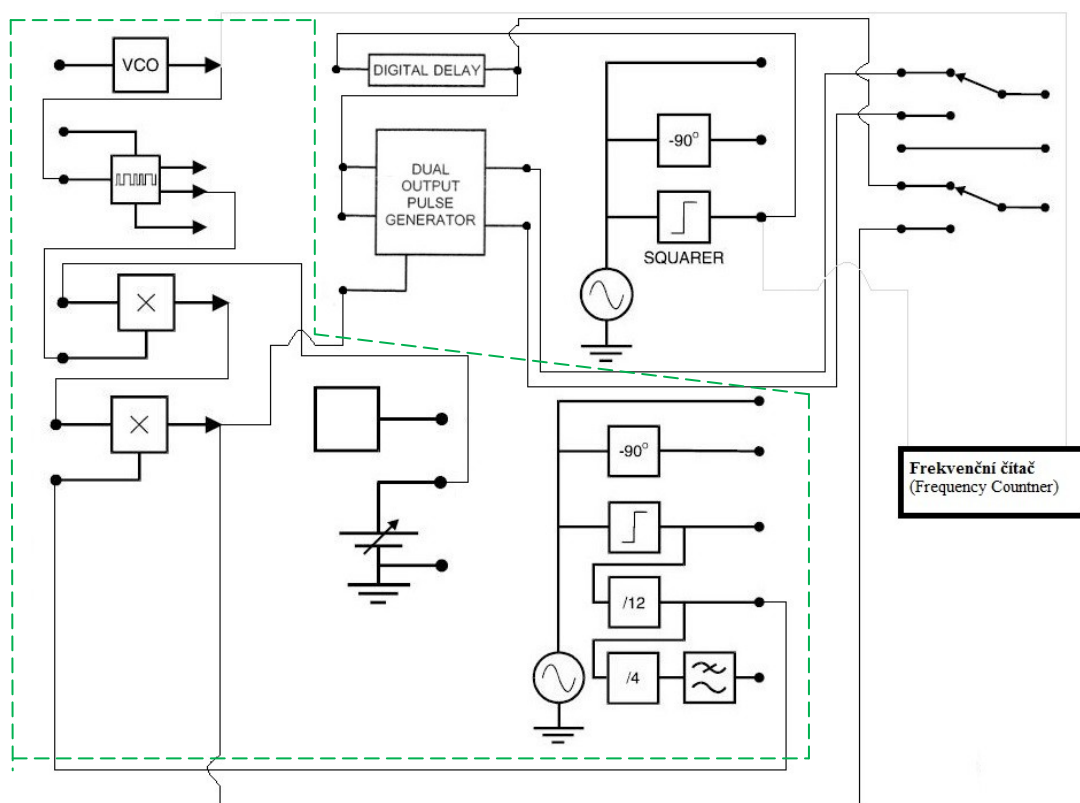
**Čítač frekvence (frequency counter)** - za pomoci tohoto na pevně připojeného modulu, budeme měřit výstupní TTL frekvenci jak ze zvukového oscilátoru (audio oscillator) tak z modulu VCO. Nastavení zvolíme 1s a měřenou frekvenci připojíme na vstup TTL. Následně se nám na display zobrazí frekvence, kterou nyní můžeme lehce změnit na požadovanou hodnotu.

**Výběr oblasti (scope selector)** – modul, který nám slouží k propojení s osciloskopem popřípadě USB modulem osciloskopu propojeným s PC. Modul dokáže snímat dva signály současně, při čemž jdou připojit až 4 snímané výstupy. Změnu sledovaného kanálu se provádí pomocí přepínače A a B. V mém měření jsem na CH 1 připojil výstupní signály z UWB modulu, jednalo se o DATA 1 a DATA 2. Na kanál CH 2 jsem na A kanál připojil CLK signál, který vstupuje do modulu UWB a na kanál B jsem připojil signál, který vstupuje do DATA 1 a DATA 2 na modulu UWB.

### 4.3 Postup měření a naměřené hodnoty

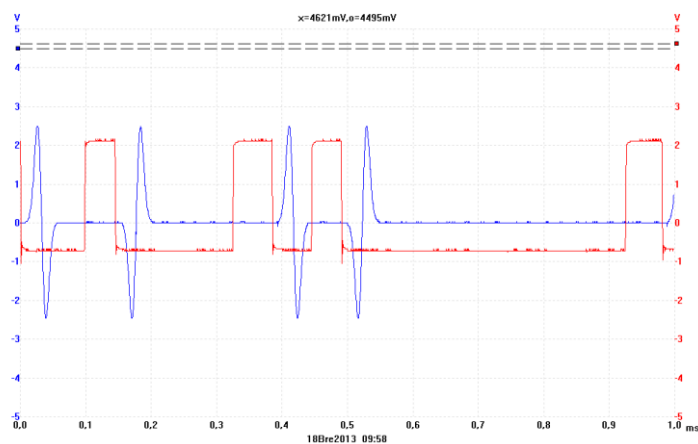
Z předchozích uvedených poznatků o jednotlivých modulech jsem sestavil následující zapojení obr. 4.5. Následně jsem zkoušel proměřování na jednotlivých frekvencích, napěťové úrovni, popřípadě i výměnu modulů a změnou nastavení UWB modulu.





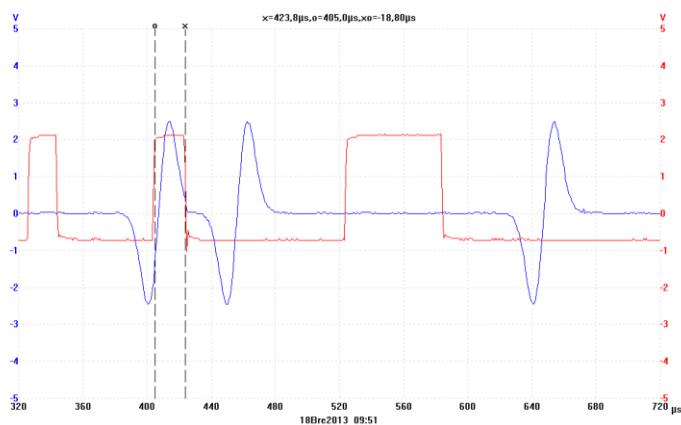
Obrázek 4.5: Konečné zapojení modulu UWB společně s dalšími použitými moduly.

Zapojení jsem se snažil sestavit tak, aby byla možnost nastavení široká. Na výše uvedeném schématu (obr. 4.5) je zeleně vyznačená oblast, vstupující do UWB modulu, kde se dá nastavit frekvence a napěťová úroveň. Dále je do modulu UWB připojen zvukový oscilátor (audio oscillator), který simuluje tok dat. Zbytek použitých modulů, frekvenční čítač (frequency counter) a výběr oblasti (scope selector) slouží ke správnému nastavení frekvence a sledování výsledného signálu na osciloskopu nebo obrazovce. Snažil jsem se zachytit signál tak, aby bylo co nejpatrnější, kde dochází ke změně pulsu a při jakém nastavení se jednotlivé pulsy mění, dojde k rozpadu signálu, popřípadě se sníží nebo zvýší počet výskytu pulsů nebo četnost výskytu změn logických jedniček a nul. Tyto naměřené hodnoty jsou vyobrazeny a popsány na následujících stránkách. V technickém manuálu k UWB modulu je uvedeno: „K vyslání UWB pulsu dochází na negativní hraně TTL signálu, který vstupuje do CLK“. Tento poznatek jsem ověřil na obr. 4.7, kde červeně je sledován pulz, který vstupuje do CLK na UWB modulu a modrý je právě vyslaný signál z UWB modulu. Na dalších obrázcích (obr. 4.7-4.10) jsou již znázorněny jednotlivé modulace (PPM, BMP, OPM, OOK).



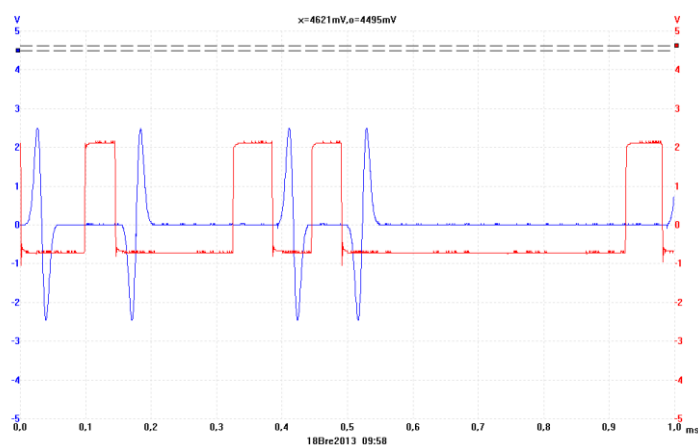
Obrázek 4.6: Ukázka vyslání pulsů při negativní hraně TTL

**PPM** – při této modulaci dochází na modulu ke zpoždění signálu o  $35\mu\text{s}$ , v případě že na vstupu do DATA1 nebo DATA2 je úroveň signálu TTL vysoká, jedná se tedy o logickou jedničku.



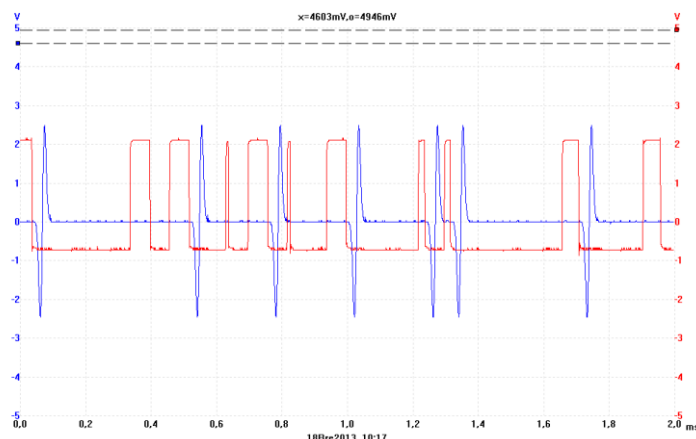
Obrázek 4.7: PPM modulace UWB pulsu

**BPM** – V tomto případě modulace ovlivňuje při logické nule, tedy nízké úrovni TTL signálu, změnu daného UWB pulsu jeho převrácením. V případě logické jedničky se puls nemění a zůstává nepřevrácen.



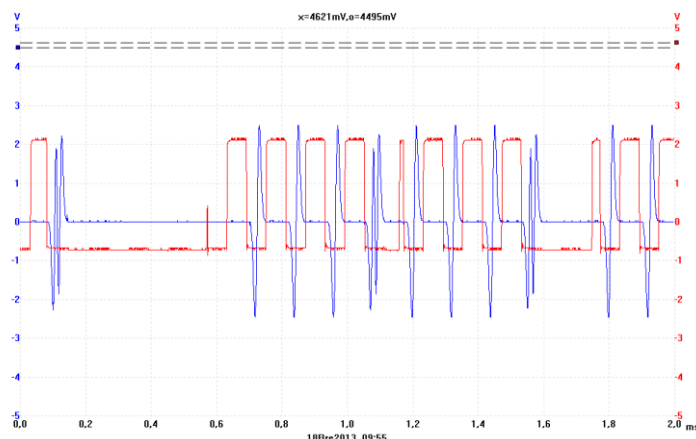
Obrázek 4.8: BMP modulace UWB pulsu

**OOK** – Jedná se o modulaci, kde při logické jedničce je výstupní puls nepřevrácen tak jak jej máme nastavený na modulu UWB. Při logické nule není signál vyslan žádný.



Obrázek 4.9: OOK modulace UWB pulsu

**OPM** - Je poslední modulace, kterou lze nastavit na UWB modulu. V případě, že budeme pracovat s vstupem DATA 2 a out OUT 2 bude puls ve tvaru dle nastavení SEL 1 a SEL 2 na desce modulu. Bude-li na vstupu logická jednička, tak výstupní puls bude dle nastavení SEL 1, naopak v případě logické nuly bude výstupní pul ovlivněn nastavením SEL 2.

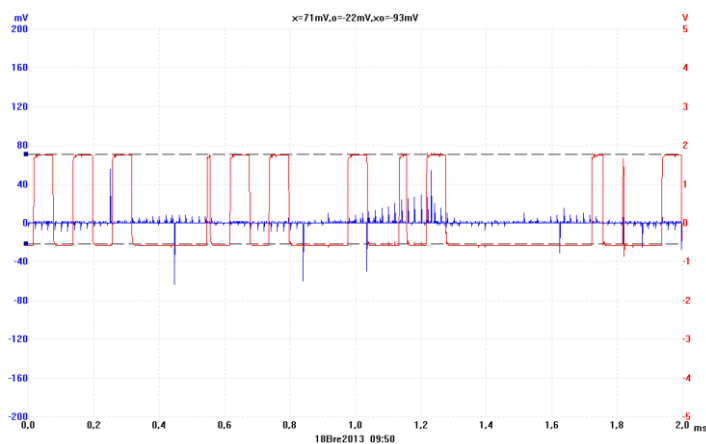


Obrázek 4.10: OPM modulace UWB pulsu

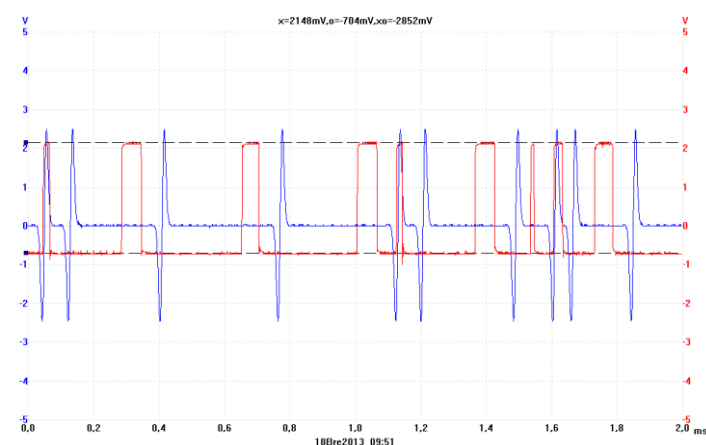
V dalším měření jsem již neproměřoval jednotlivé typy modulací, ale zkoumal jsem změnu napětí TTL signálu na vliv vytváření UWB pulsu. Dalším zkoumáním bylo změna frekvence, vstupující do CLK na UWB modulu a změna frekvence vstupující do zpoždění (delay) na UWB modulu. Předpoklad byl, že se snížením frekvence vstupující do CLK, dojde k následnému delšímu zpoždění mezi jednotlivými výskyty pulsů. V případě, změny frekvence do zpoždění (delay) byl předpoklad, změna počtu změn pulsů mezi logickou jedničkou a logickou nulou.

Na následujícím obrázku je vyobrazena mezní hranice napětíové úrovně TTL signálu vsutpující do CLK na UWB. Pokud je pod napětí 2V, dojde k rozpadu UWB pulsu, tedy není vůbec vytvořen (obr. 4.11). V případě, že napětíová úroveň překročí 2V, puls z UWB modulu je již vytvořen bez problému (obr. 4.12).



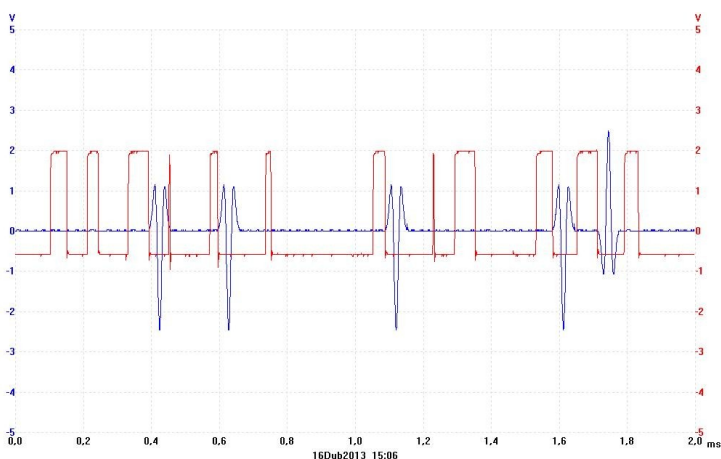


Obrázek 4.11: Mezni hranice – rozpad pulsů



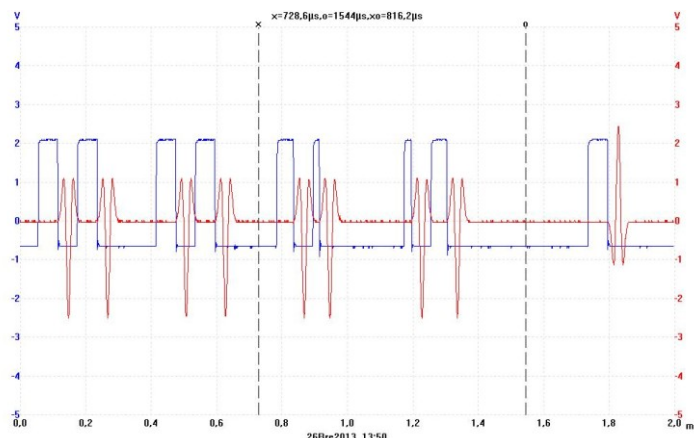
Obrázek 4.12: Mezni hranice – vytváření pulsů

Na následujícím snímku (obr. 4.13) je zachyceno nastavení přesně na 2V. Zde docházelo k chybě při vytváření pulsů, v určitých intervalech byly vyslány, ale v dalších k vyslání nedošlo. Z obrázku je také patrné že se nejedná o modulaci OOK, ale o modulaci BMP.

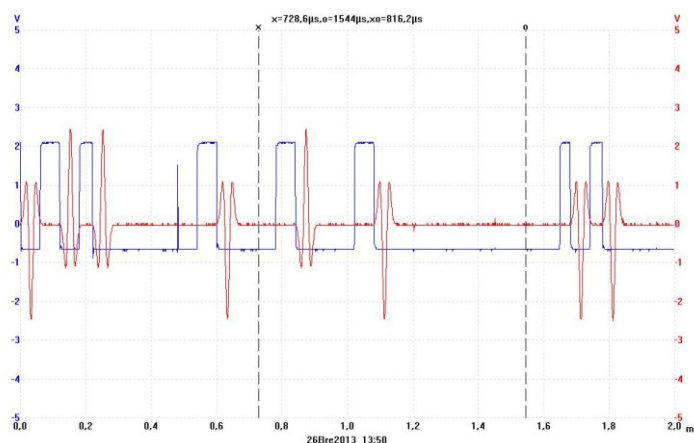


Obrázek 4.13: Nastavení hranice napěťové úrovně přesně na 2V

Dalším cílem měření bylo prozkoumání již zmíněné změny frekvence, nejprve jsem změnil frekvenci na modulu zvukový oscilátor (audio oscillator), vedoucím do UWB modulu do zdířky DELAY. Výsledky lze pozorovat na obr. 4.14 a obr. 4.15.

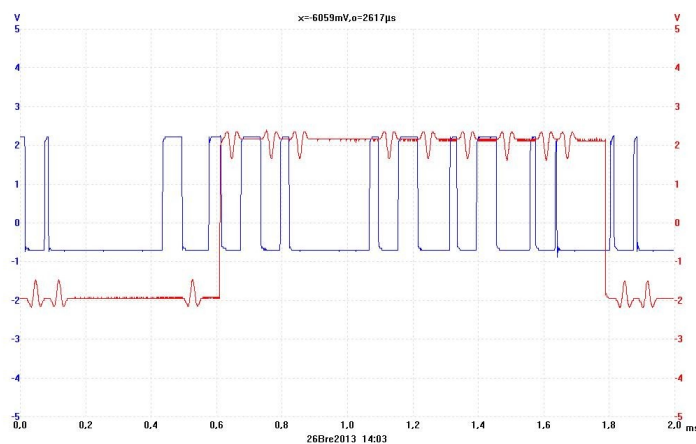


Obrázek 4.14: Nastavení modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na frekvenci 260MHz



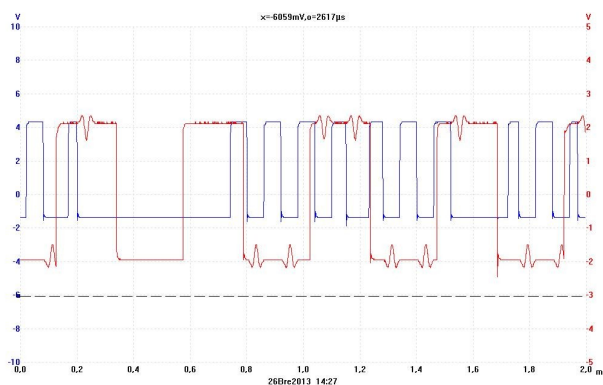
Obrázek 4.15: Nastavení modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na frekvenci 10kHz

Podíváme-li se na signál podrobněji, zjistíme důvod, proč ke změnám dochází při změně frekvence, tento průběh jsem se pokusil zachytit na obr. 4.16. Červeně je zde vyznačen TTL signál vedoucí z modulu zvukový oscilátor (audio oscillator), v tomto případě byla nastavena frekvence na 400MHz. Modře je vyznačen signál, který vede do CLK na UWB modulu. Jeho frekvence je ovlivněna modulem VCO a je nastavena na 12,2kHz. Abych dosáhl vyobrazení změn pulsu, musel jsem připojit na jeden vstup osciloskopu dva výstupy. Jeden byl ze zvukového oscilátoru (audio oscillator) a druhý byl z UWB modulu DATA OUT. Tím jsem dosáhl vyobrazení jak je na obrázku, tedy patrnosti změn pulsů při změně frekvence na zvukovém oscilátoru (audio oscillator).



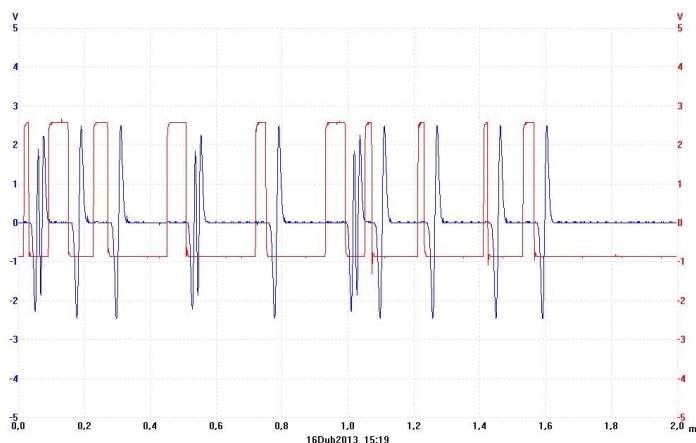
Obrázek 4.16: Ukázka vlivu nastavení frekvence na výskyt a počet změn UWB pulsu.

Na následujícím obrázku (obr. 4.17) jsem zvýšil frekvenci na modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na frekvenci 2,2kHz. Je zde pak patrné, že došlo ke zvýšení počtu logických jedniček a nul.



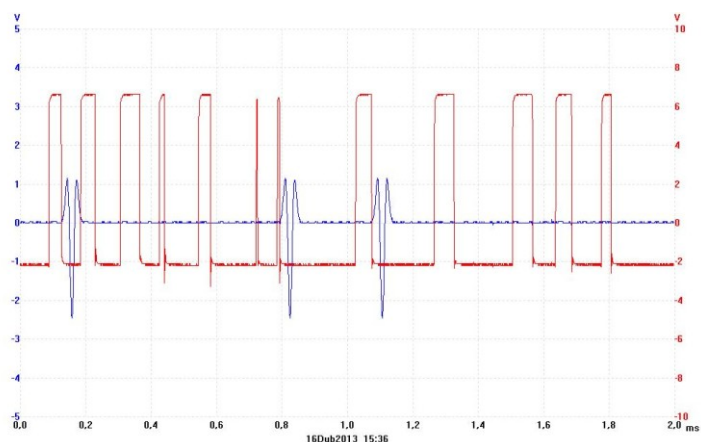
Obrázek 4.17: Zvýšení frekvence na modulu zvukový oscilátor (audio oscillator)

Budeme-li se chtít podívat na posloupnost přenosu logických hodnot signálu, jsou k tomu nutné modulace. Modul dokáže pracovat se čtyřmi druhy těchto modulací, jak již bylo popsáno výše. Pro každou jednoutlivou modulaci jsem zachytil snímek a následně vypsál přenášenou logickou hodnotu signálem.



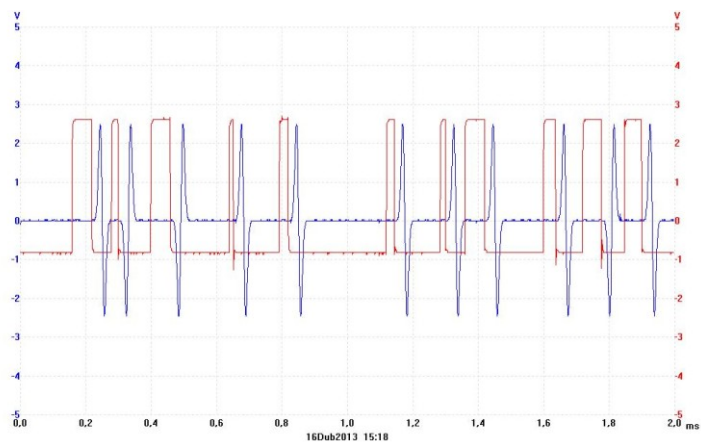
Obrázek 4.18: Posloupnost přenášeného signálu v případě modulace OPM:

Na obr. 4.18 je zachycena modulace OPM a posloupnost přenášených logických jedniček a nul je: 1001010000



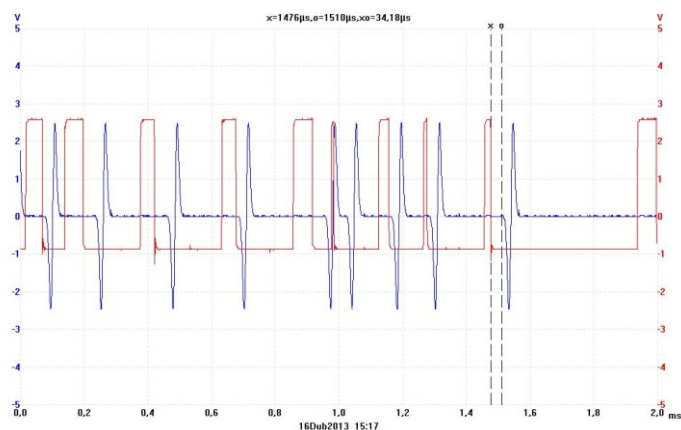
Obrázek 4.19: Posloupnost přenášeného signálu v případě modulace OOK:

Na obr. 4.19 je zachycena modulace OOK a posloupnost přenášených logických jedniček a nul je: 100000110000. Tuto modulaci jsem do zadání nezahrnul. Je to z důvodu časové náročnosti na zpracování celého zadání studenty a také z nutnosti změny zkratovací propojky na kartě. Modulace je jednoduchá, ale může dojít k chybě vyslání pulsu a následně k špatnému detekování jako hodnoty jako logické 0.



Obrázek 4.20: Posloupnost přenášeného signálu v případě modulace BPM:

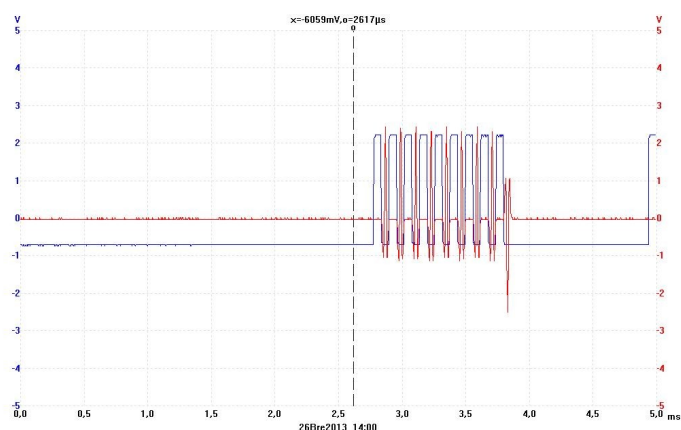
Na obr. 4.20 je zachycena modulace BPM a posloupnost přenášených logických jedniček a nul je: 01100000010. Tato modulace je poměrně často využívána. Na rozdíl od OOK, je zde přesně určený signál a nemůže dojít tak snadno ke špatné detekci.



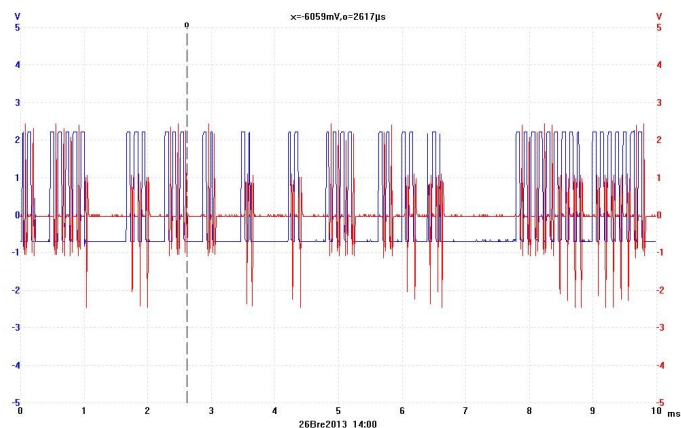
Obrázek 4.21: Posloupnost přenášeného signálu v případě modulační PPM:

Na obr. 4.21 je zachycena modulační PPM a posloupnost přenášených logických jedniček a nul je: 011010001. Při této modulaci je signál vyslán se zpožděním. Je nutná dobrá synchronizace, nebo může dojít také k chybovosti vzniklé nepřesným vysláním pulsu.

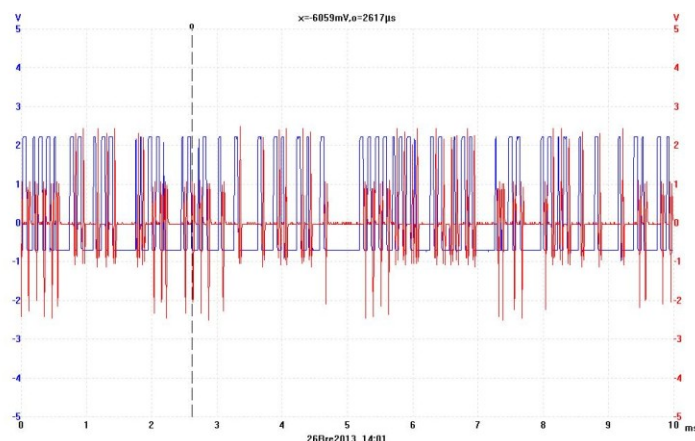
Posledním krokem měření bylo přezkoumání výskytu pulzů po změně nastavení frekvence na VCO. Aby bylo dobře patrná změna, musel jsem nastavit delší časový úsek, proto jsou vyobrazené pulsy na následujících obrázcích nezřetelné (obr. 4.22 - 4.24).



Obrázek 4.22: Nastavení modulu VCO na frekvenci 900 MHz



Obrázek 4.23: Nastavení modulu VCO na frekvenci 5 kHz



*Obrázek 4.24: Nastavení modulu VCO na frekvenci 11,5kHz*

Z výše uvedených obrázků (obr. 4.22 – 4.24) je patrná změna frekvence na výskyt pulsů. Při nízké frekvenci se pulsy vyskytují seskupeně po delším časovém úseku. Při zvyšování frekvence dochází k častějšímu výskytu pulsů.

Z výše uvedených měření a pokusů, jsem následně sestavil zadání na měření a vzorově vypracovaný protokol. Z důvodu časové náročnosti na zpracování dat během vyučující hodiny a také, nutnosti změny skratovací propojky na desce modulu UWB, jsem vypustil v zadání protokolu proměřování modulace OOK. Protokol jsem se snažil sestavit tak, aby studenti nejen zdárně odměřili parametry technologie UWB, ale také, aby si prohloubili zkušenosti a získali nové dovednosti se zařízením Tims.

Při vypracování této části byly použity uživatelské manuály k zařízení Tims. [23][24]

## 5 Závěr

V této práci jsem měl za úkol popsání určitých bezdrátových technologií v oblasti sítí WPAN. Technologie, které jsem popisoval v prvních kapitolách, jsou (až na WUSB) poměrně známé a hojně rozšířené, zejména pak technologie Bluetooth. Následně jsem se podrobněji věnoval technologii UWB, kde jsem již nepopisoval jen základní parametry, ale také další faktory týkající se této technologie. Za zmínku stojí zajímavá historie, kde tato technologie byla určena především pro vojenské účely. Až okolo roku 2000 se o této technologii, díky jejímu potenciálu, začalo uvažovat jako o technologii pro budoucí rychlý přenos dat v oblasti sítí PAN. Při testování technologie se ukázalo, že její uplatnění nebude zdaleka jen v této oblasti, ale možnosti jejího použití jsou obrovské.

Následně jsem na tuto technologii prováděl měření na výukovém zařízení Tims. Cílem mé práce bylo dosáhnout kvalitního zapojení, které by umožňovalo hojně využít použitého modulu UWB a proměřit jednotlivé jeho parametry. Zapojení, které jsem takto zhotovil, umožňuje změnu toku dat, který vstupuje do tohoto modulu, následně je tímto ovlivněn tok logických jedniček a nul, což je dobrý příklad jak se modul UWB chová. Dále je možná změna frekvence a napěťové úrovně, vstupující do modulu UWB, kde můžeme sledovat, k jakým změnám dochází při měření těchto hodnot.

Výsledek měření na zařízení Tims, bylo sestavení zadání na měření a vypracování vzorového protokolu. Zadání je sepsáno tak, aby si každý student nejen prohloubil znalosti o technologii UWB, ale také, aby získal nové zkušenosti se zařízením Tims.

---

## Použitá literatura

- [1] Personal area network. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Personal\\_area\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Personal_area_network)
- [2] Personal area network. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Personal\\_Area\\_Network](http://cs.wikipedia.org/wiki/Personal_Area_Network)
- [3] Bluetooth. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [4] *Specification of the Bluetooth System: Wireless connections made easy* [online]. 1999 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://grouper.ieee.org/groups/802/15/Bluetooth/core\\_10\\_b.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/802/15/Bluetooth/core_10_b.pdf)
- [5] Automa :: Bezdrátové komunikace v automatizační praxi II: standard Bluetooth. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28874](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28874)
- [6] Ing. Přemysl, Mer, Ph.D. *Moderní komunikační technologie: Přístupové sítě*. Ostrava, 2007.
- [7] ZigBee - novinka na poli bezdrátové komunikace | HW.cz. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/zigbee-novinka-na-poli-bezdratove-komunikace.htm>
- [8] ZigBee - kdy je pomalejší síť výhodnější? - Technologie - NOTEBOOK.cz. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://notebook.cz/clanky/technologie/2011/ZigBee>
- [9] *BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACNÍ MODULY PRO MIKROKONTROLÉRY*. Brno, 2011. Diplomová práce. VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNE
- [10] FARAHANI, Shahin. *ZigBee wireless networks and transcievers*. Amsterdam: Elsevier ; Newnes, 2008, xxiv, 339 s. ISBN 978-0-7506-8393-7.
- [11] Wireless USB - bezdrátové USB | HW.cz. [online]. 2007 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/wireless-usb-bezdratove-usb.html>
- [12] USB.org - Wireless USB. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.usb.org/developers/wusb/>
- [13] Z-Wave Technology. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://digitalhomesystems.com.au/index.php?option=com\\_content&view=section&id=4&layout=blog&Itemid=56](http://digitalhomesystems.com.au/index.php?option=com_content&view=section&id=4&layout=blog&Itemid=56)
- [14] Z-Wave.com - FAQ. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://www.z-wave.com/modules/xoopsfaq/index.php?cat\\_id=2](http://www.z-wave.com/modules/xoopsfaq/index.php?cat_id=2)
- [15] Odborné časopisy :: Z-Wave Alliance se představí na odborném fóru Smart Home v rámci březnového veletrhu CeBIT. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=45840](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=45840)
- [16] ROZHODNUTÍ KOMISE: 2009/343/ES. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2009. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:105:0009:0013:CS:PDF>



- 
- [17] KRAMOSIL, Ing. Jan. Ultra-širokopásmové systémy (UWB): Pardubice 2005. [online]. 2005, s. 14 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://www.ok2kkw.com/00000104/uwb/uwb\\_pardubice\\_clanek.pdf#page=1&zoom=auto,0,849](http://www.ok2kkw.com/00000104/uwb/uwb_pardubice_clanek.pdf#page=1&zoom=auto,0,849)
- [18] MRAJCA, Michal. Principy přenosu v UWB sítích: Semestrální práce z předmětu 37MK. [online]. s. 7 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07\\_semestralky/UWB-principy\\_prenosu.pdf](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/UWB-principy_prenosu.pdf)
- [19] ŠRUBAŘ, Zbyněk. Základní charakteristiky UWB: Mobilní komunikace. [online]. 2004, s. 4 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05\\_semestralky/UWB\\_Zbynek\\_Srubar.PDF](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05_semestralky/UWB_Zbynek_Srubar.PDF)
- [20] KRAMOSIL, Ing. Jan. Prognóza trhu aplikací UWB: Pardubice 2008. [online]. 2008, s. 12 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://www.ok2kkw.com/uwb\\_pce\\_r1.pdf](http://www.ok2kkw.com/uwb_pce_r1.pdf)
- [21] LAŠKA, Richard. *Pseudonáhodné posloupnosti v UWB systémech: Pseudo-random sequences in UWB systems*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 1 elektronický optický disk [CD-ROM / DVD]. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [22] Učebnice Teorie Rádiové Komunikace - UWB komunikace. [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://www.urel.feec.vutbr.cz/MTRK/?UWB\\_komunikace](http://www.urel.feec.vutbr.cz/MTRK/?UWB_komunikace)
- [23] BREZNIK, Alfred a Carlo MANFREDINI. EMONA INSTRUMENTS PTY LTD. *TIMS ADVANCED MODULES and TIMS SPECIAL APPLICATION MODULES USER MANUAL*. Australia, 2009.
- [24] BREZNIK, Alfred a Carlo MANFREDINI. EMONA INSTRUMENTS PTY LTD. *TIMS-301 USER MANUAL*. Australia, 2009.

---

## Seznam příloh

Příloha.A:	Zadání laboratorního měření .....	I
Příloha.B:	Vzorově vyřešený protokol .....	VIII
Příloha.C:	Příloha pro cvičícího .....	XVIII

Součástí BP je DVD.

Adresářová struktura přiloženého DVD:

- \\PrilohaProCviciciho.docx
- \\PrilohaProCviciciho.pdf
- \\VypracovanyProtokol.docx
- \\VypracovanyProtokol.pdf
- \\Zadani.docx
- \\Zadani.pdf

# **Zadání laboratorního měření**

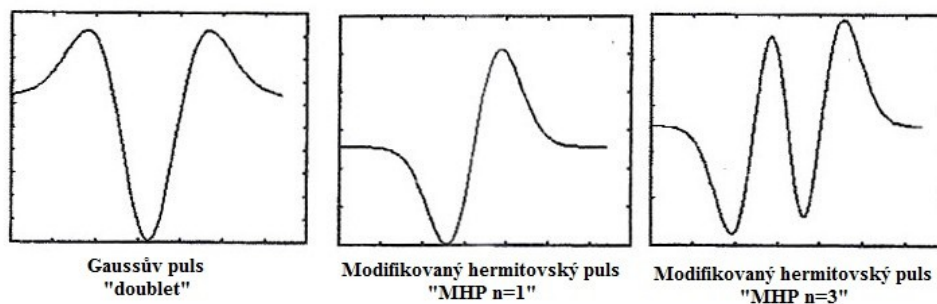
Technologie UWB

**Datum:** 3.5.2013  
**Autor:** Jiří Zifčák  
**Kontakt:** jiri.zifcak.st@vsb.cz  
**Předmět:** Přístupové sítě

---

## Úvodem k měření:

Cílem této úlohy je seznámení se signálem UWB a určitými druhy pulsů, které jsou pro tento signál charakteristické (obr. 1). Mimo jiné také určení posloupnosti jedniček a nul signálem přenášené. Měření bude probíhat na výukovém zařízení EmonaTims. Než začnete samotné měření, důkladně si přečtete celé zadání až do konce.



Obr. 1 Použité druhy pulsů

## Teoretická část:

Zařízení EmonaTims je modulární systém, kde díky výměnným modulům, můžeme měnit konfiguraci zařízení a tím dosáhnout požadovanou změnu nastavení. V této části zadání Vás seznámím s moduly, které budete pro toto měření využívat. Na obrázku č. 2 jsou blokové diagramy k použitým modulům.

**VCO** – Z tohoto modulu využijeme především funkci generování TTL signálu. Může pracovat jak na nízkou frekvenci značenou LO, kterou pro naše měření budeme využívat, tak na frekvenci vysokou HI.

**Sekvenční generátor (sequence generator)** – Tento modul nám vytváří náhodnou sekvenci signálu. Pro jeho správnou funkci je na jeho vstup nutno přivést analogový nebo v našem případě digitální TTL signál. Následně na jeho výstupu jsou již generovány náhodné pulzy.

**Násobička (multiplier)** – Díky tomuto modulu můžeme sčítat dva signály dohromady. S tím, že máme dva vstupy označené X a Y, a jeden výstup značený  $kXY$ , kde  $k = 0,5$ . Díky tomuto modulu následně můžeme měnit napětovou úroveň TTL signálu.

**UWB** – Hlavní modul našeho měření. Při správném zapojení nám bude generovat vybrané pulsy. Podrobněji je tento modul popsán dále.

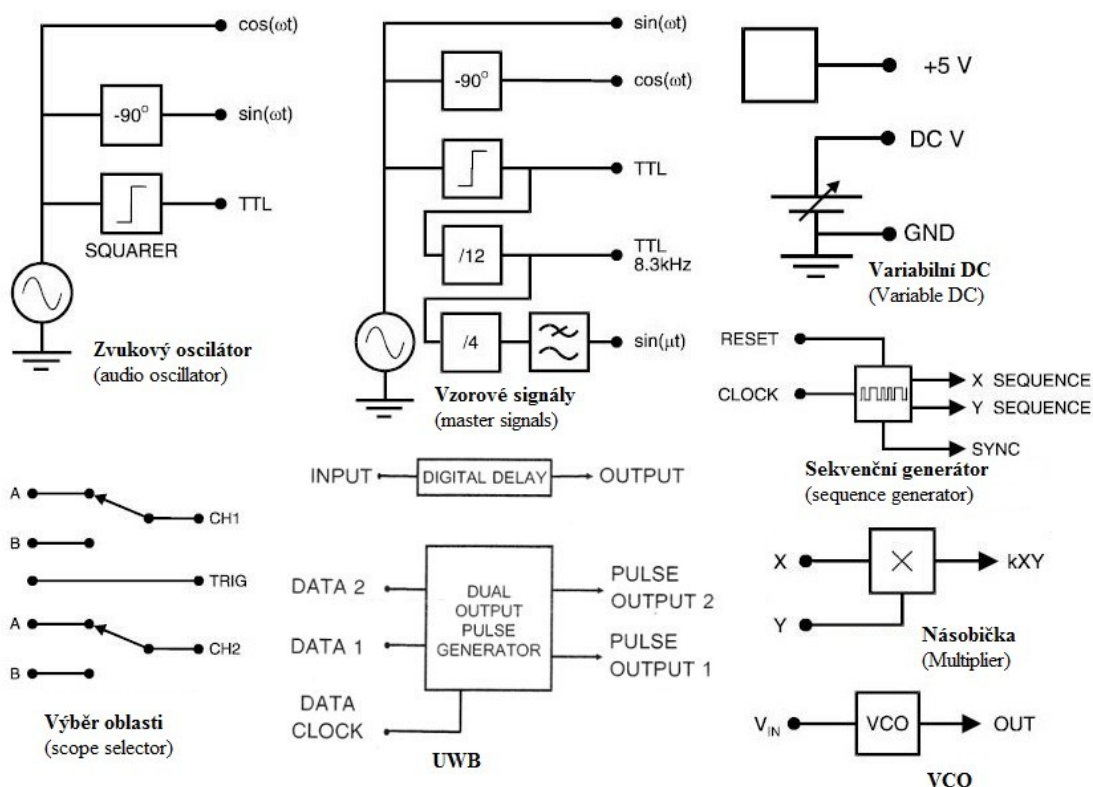
**Variabilní DC (variable DC)** – Zde využijeme výstupu DC. Tento modul je v zapojení zahrnut, proto, abyste dokázali určit napětovou úroveň TTL signálu potřebnou pro vytvoření UWB pulsu.

**Vzorové signály (master signals)** - Tento modul generuje signály o pevně dané frekvenci. V tomto měření využijete výstupu 8,3kHz TTL SAMPLE CLOCK

**Výběr oblasti (scope selector)** – Modul, díky kterému můžeme připojit osciloskop. Má dva kanály CH1 a CH2 a každý kanál má dva vstupy A a B, které lze mezi sebou přepínat a sledovat na osciloskopu, popřípadě monitoru počítače (pokud použijeme USB osciloskop připojený k PC).

**Zvukový oscilátor (audio oscillator)** – Tento modul nám také generuje signál TTL. My jej využijeme pro ovlivnění změn signálu vysoké a nízké úrovně, tj. logických jedniček a nul vycházejících z modulu UWB.

**Čítač frekvence (frequency counter)** – Poslední modul, který budeme využívat. Slouží k proměrování nastavené frekvence na modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) a VCO.



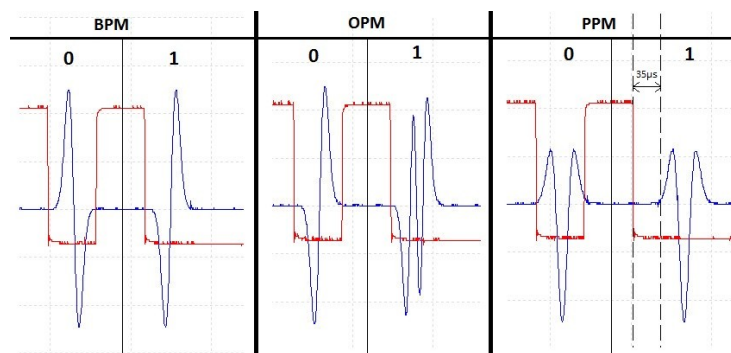
Obr. 2 Blokové diagramy použitých modulů

Na obr. 3 jsou znázorněny jednotlivé pulsy UWB modulu, které nasimulujete a určíte pro ně posloupnost logických jedniček a nul. Mezi jednotlivými módy modulace (PPM, BPM a OPM) se přepíná pomocí páčkového přepínače na přední straně UWB modulu. Na jednu snímku musí být patrná posloupnost alespoň 8 těchto pulsů. Abyste toho dosáhly je potřeba správně nastavit moduly VCO a zvukový oscilátor (Audio Oscillator).

**BPM (Binary Phase Modulation, binární fázová modulace)** – Jedná se o modulaci kde při vysoké úrovni TTL signálu, jde tedy o logickou jedničku, nedochází k změně UWB pulsu. V případě nízké úrovně tohoto signálu dochází k převrácení pulsu.

**OPM (Orthogonal Phase Modulation, Orthogonální fázová modulace)** – Jedná se o signál, kde při logické 0 nedochází ke změně, při logické 1 se puls změnil dle nastavení modulu. V případě našeho měření bude signál vypadat jak na obr. 5.

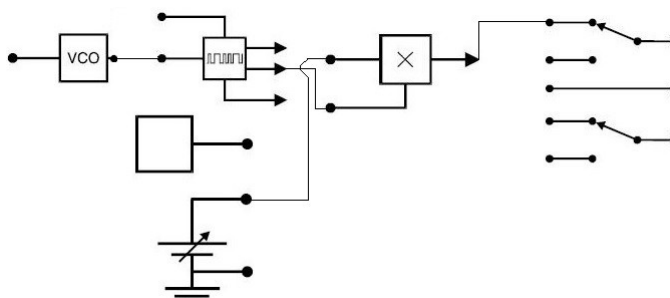
**PPM (Pulse Position Modulation, Pulsně poziční modulace)** – V případě nízké úrovně TTL signálu nedochází ke změně pulsu. V případě vysoké úrovně signálů dochází ke zpoždění signálu o  $35\mu\text{s}$  za negativní hranou signálu vstupující do CLK na UWB modulu.



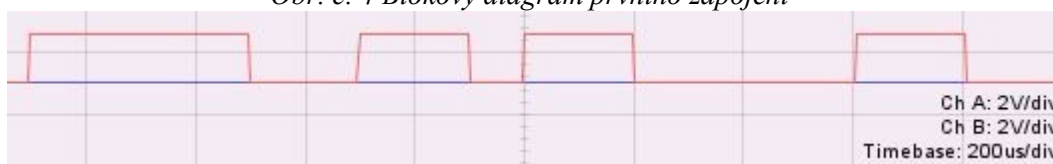
Obr. 3 Ukázka vyslaných pulsů UWB modulem

### Praktická část:

- 1) Pro nasimulování signálu UWB využijete následujících modulů: 1x VCO, 1x Sekvenční generátor (sequence generator), 2x Násobička (multiplier), 1x UWB, 1x Variabilní DC (variable DC), 1x Vzorové signály (master signals), 1x Výběr oblasti (scope selector), 1x Zvukový oscilátor (audio oscillator), 1x Čítač frekvence (frequency counter)
- 2) Sestavíte zapojení na obr. č. 4 a vyobrazíte jej na osciloskopu. Pokud je zapojení správné mělo by vypadat obdobně jako na obr. č. 5. Nezapomeňte také vyobrazit na osciloskopu jednotlivé výstupy z použitých modulů.

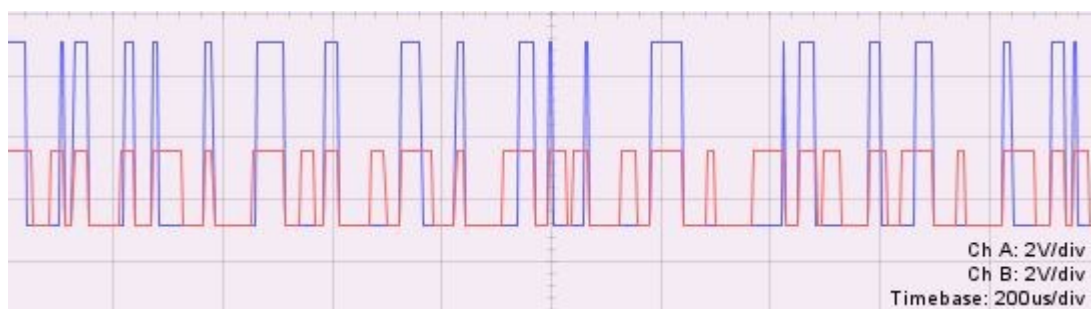


Obr. č. 4 Blokový diagram prvního zapojení



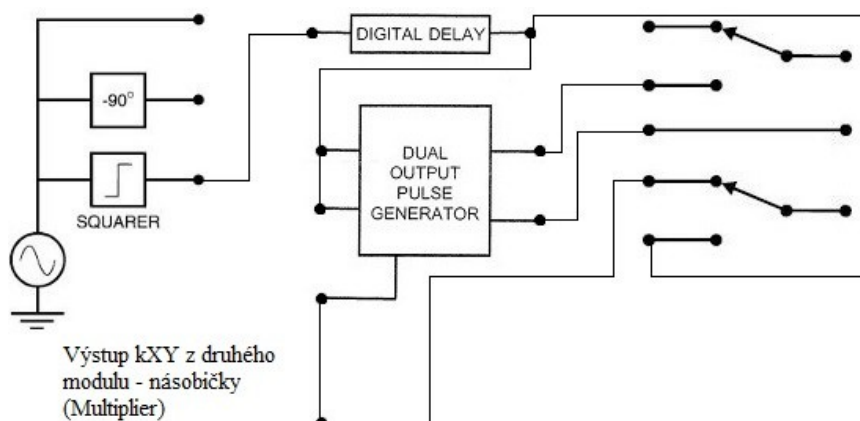
Obr. č. 5 Výstupní TTL signál z prvního zapojení

- 3) Z informací k jednotlivým modulům uvedeným v teoretické části a zkušeností z předchozího bodu sestavíte zapojení, generující signál uvedený na obr. č. 6. Využijte k tomu dalšího modulu násobičky (Multiplier) a modulu vzorové signály (Master Signals). V případě, že se Vám tento bod nepodaří realizovat do 30 minut, požádejte cvičícího o schéma se zapojením. Modře vyobrazený je signál vycházející z výstupu kXY na druhém modulu násobičky (Multiplier) a červeně zachycený je signál z výstupu kXY na první násobičce.



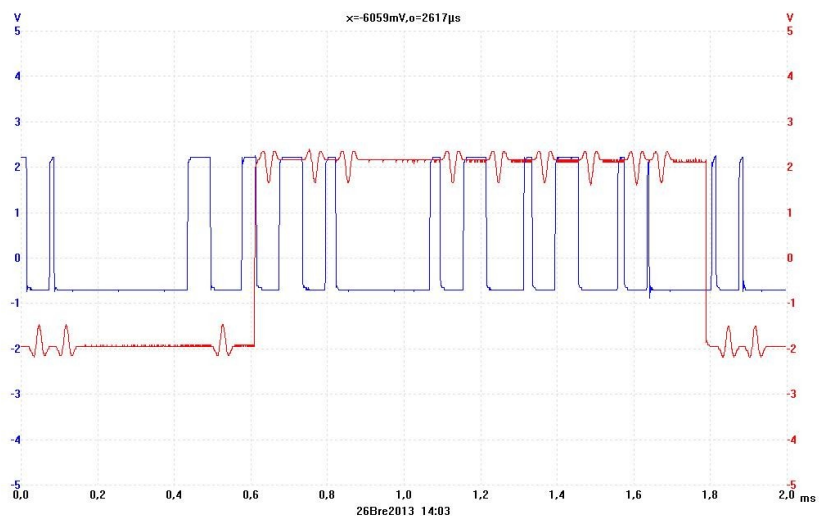
Obr. č. 6 Signál pozorovaný na osciloskopu v případě druhého zapojení

- 4) Pro realizaci kompletního zapojení, je nezbytné, abyste měli správně sestavené zapojení z předchozího bodu. Pokud tak máte, dokončete zapojení dle obr. č. 7



Obr. č. 7 Zapojení UWB modulu

- 5) Popište vliv změny napětí a jeho následný vliv na signál UWB. Uved'te snímek, při jaké úrovni došlo k rozpadu signálu. Dále propojte modul VCO a čítač frekvence (frequency counter) a na modulu VCO nastavte frekvenci na: 1kHz, 5kHz a v rozmezí 10-18kHz. Pro všechny frekvence poříd'te snímky a následně popište vliv změny frekvence. To samé proved'te pro modul zvukový oscilátor (audio oscilator), zde bude frekvence nastavena na: 300MHz a okolo 2kHz.
- 6) Vytvoř'te snímek posloupnosti minimálně 8 logických jedniček a nul pro každou modulaci signálu (PPM, BPM a OPM). Následně ze snímku posloupnost jedniček a nul vyč'tete a uved'te do protokolu.
- 7) Nyní si vyberte jeden puls (doporučuji Gaussův puls „doublet“ kvůli zřetelnosti) a připojte k němu signál jdoucí ze zvukového oscilátoru (audio oscillator). Tedy na modulu výběr oblasti (scope selector) máme následující situaci: Na CH1 máme připojeno jeden ze sledovaných signálů, vycházejících z výstupu (out) na UWB modulu a v tom samém kanálu a vstupu (třeba A) také signál vedoucí ze zvukového oscilátoru (audio oscillator). Na druhém kanálu CH2 sledujeme signál CLK. Pokud máme zapojeno správně, měly by snímky na osciloskopu vypadat, jak je uvedeno na obr. 8. Modře je vyznačen signál, který sledujeme na vstupu do UWB modulu. Červeně je vyznačen signál vystupující z UWB modulu ovlivněný modulem zvukový oscilátor (audio oscillator). Tento snímek si také zaznamenejte.



Obr. 8 Správné zapojení sledovaných kanálů na modulu „výběr oblasti“

8) Vytvořte protokol (použijte šablonu ze stránek katedry, nebo šablonu z moodlu), kde uvedete následující:

- popíšete použité přístroje (nezapomenout také na SW a použité moduly v zařízení Emona Tims)
- popíšete postup práce a překreslete schéma konečného zapojení
- popište naměřené hodnoty (nezapomeňte do protokolu uvést snímky z osciloskopu)
- pro každou modulaci (PPM, BPM, OPM) si vyberte jeden z druhů pulsů a zachytněte posloupnost logických jedniček a nul a následně vypište tuto posloupnost
- nezapomeňte také uvést odpovědi na otázky již výše zmíněné v zadání
- popište, kdy přesně dochází k vyslání pulsu z modulu UWB
- vysvětlíte vliv signálu z modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na četnost výskytu logických 1 a 0

### Poznámky k měření:

Než započnete samotné měření, proveďte kontrolu nastavení UWB modulu:

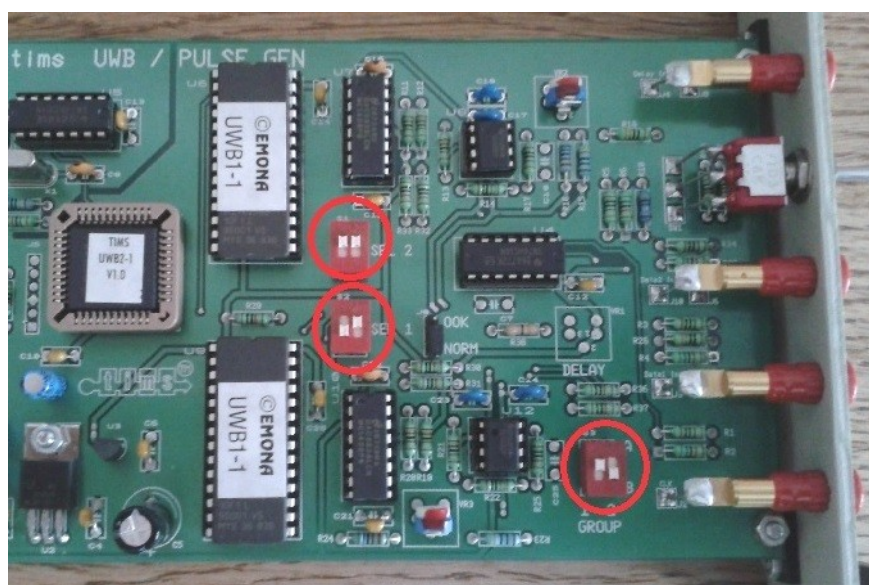
Připojte na vstup CLK u UWB modulu TTL signál 8,3kHz z vzorové signály (master signals). Výstup OUT1 připojte na kanál CH1 zdířka A na modulu výběr oblasti (scope selector) a signál z OUT2 na modulu UWB připojte na kanál CH1 zdířka B. Na modulu UWB přepněte mezi jednotlivými druhy modulací. Označení A nebo B určuje sledovaný kanál. Výsledek by měl vypadat jako na obr. 9.






*Obr. 9 Správné nastavení modulu UWB*

Pokud signály souhlasí, můžete přejít k měření. V případě, že jsou signály rozdílné, požádejte cvičícího, aby Vám kartu nastavil dle obr. 10.



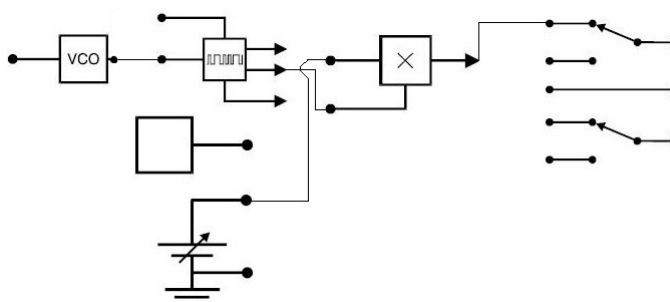
*Obr. 10 Nastavení desky UWB modulu*

Pro nastavení frekvence využijte modul čítač frekvence (frequency counter). Budeme-li chtít změřit frekvenci na modulu zvukový oscilátor (audio oscillator), tak na výstup z tohoto modulu připojíme propojovací drát a na modulu čítač frekvence (frequency counter) jej připojíme do zdířky TTL. Pomocí ovládacího prvku změníme nastavení na 1s.

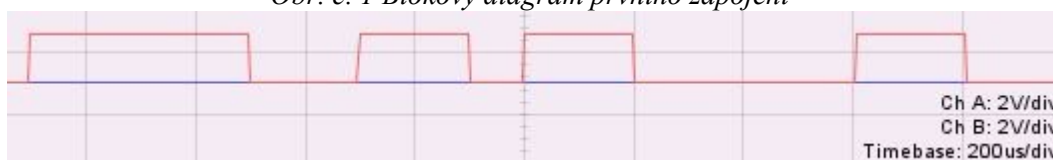
 Katedra telekomunikační techniky		<b>Přístupové sítě</b>
Protokol č.: 1	Datum: 12. 4. 2013	
Název:	Technologie UWB	
Vypracoval: Zifčák Jiří login: ZIF0005	Spolupracoval: - login: -	

## 1. Zadání úlohy/měření

- Pro nasimulování signálu UWB využijete následujících modulů: 1x VCO, 1x Sekvenční generátor (sequence generator), 2x Násobička (multiplier), 1x UWB, 1x Variabilní DC (variable DC), 1x Vzorové signály (master signals), 1x Výběr oblasti (scope selector), 1x Zvukový oscilátor (audio oscillator), 1x Čítač frekvence (frequency counter)
- Sestavíte zapojení na obr. č. 1 a vyobrazíte jej na osciloskopu. Pokud je zapojení správné mělo by vypadat obdobně jako na obr. č. 2. Nezapomeňte také vyobrazit na osciloskopu jednotlivé výstupy z použitých modulů.

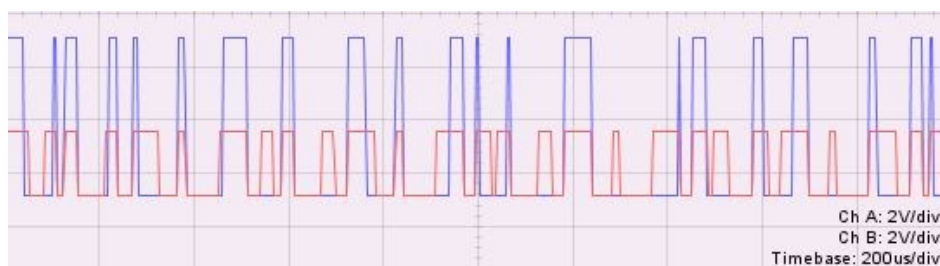


Obr. č. 1 Blokový diagram prvního zapojení



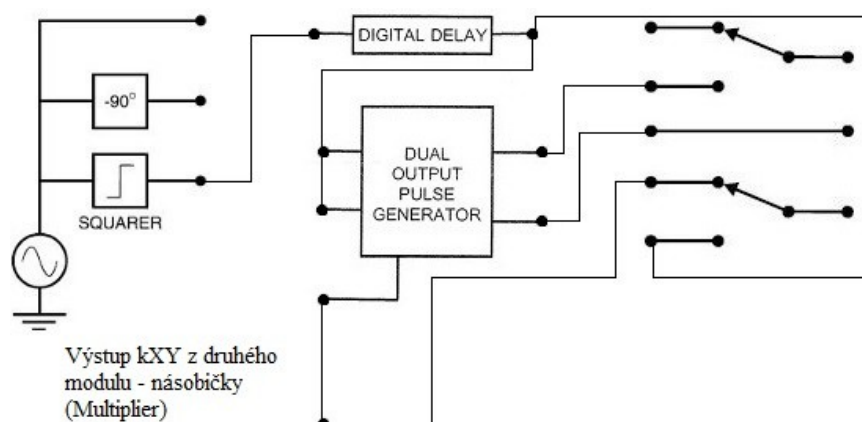
Obr. č. 2 Výstupní TTL signál z prvního zapojení

- Z informací k jednotlivým modulům uvedeným v teoretické části a zkušeností z předchozího bodu sestavíte zapojení, generující signál uvedený na obr. č. 3. Využijte k tomu dalšího modulu násobičky (Multiplier) a modulu vzorové signály (Master Signals). V případě, že se Vám tento bod nepodaří realizovat do 30 minut, požádejte cvičícího o schéma se zapojením. Modře vyobrazený je signál vycházející z výstupu kXY na druhém modulu násobičky (Multiplier) a červeně zachycený je signál z výstupu kXY na první násobičce.



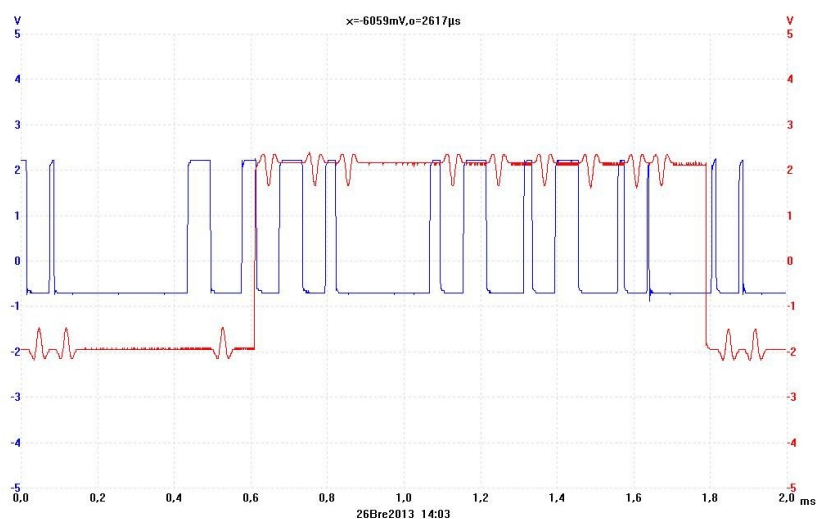
Obr. č. 3 Signál pozorovaný na osciloskopu v případě druhého zapojení

4. Pro realizaci kompletního zapojení je nezbytné, abyste měli správně sestavené zapojení z předchozího bodu. Pokud tak máte, dokončete zapojení dle obr. č. 4



Obr. č. 4 Zapojení UWB modulu

5. Popište vliv změny napětí a jeho následný vliv na signál UWB. Uveďte snímek, při jaké úrovni došlo k rozpadu signálu. Dále propojte modul VCO a čítač frekvence (frequency counter) a na modulu VCO nastavte frekvenci na: 1kHz, 5kHz a v rozmezí 10-18kHz. Pro všechny frekvence pořídte snímky a následně popište vliv změny frekvence. To samé proveďte pro modul zvukový oscilátor (audio oscillator), zde bude frekvence nastavena na: 300MHz a okolo 2kHz.
6. Vytvořte snímek posloupnosti minimálně 8 logických jedniček a nul pro každou modulaci signálu (PPM, BPM a OPM). Následně ze snímku posloupnost jedniček a nul vyčtete a uveďte do protokolu.
7. Nyní si vyberte jeden puls (doporučuji Gaussův puls „doublet“ kvůli zřetelnosti) a připojte k němu signál jdoucí ze zvukového oscilátoru (audio oscillator). Tedy na modulu výběr oblasti (scope selector) máme následující situaci: Na CH1 máme připojeno jeden ze sledovaných signálů, vycházejících z výstupu (out) na UWB modulu a v tom samém kanálu a vstupu (třeba A) také signál vedoucí ze zvukového oscilátoru (audio oscillator). Na druhém kanálu CH2 sledujeme signál CLK. Pokud máme zapojeno správně, měly by snímky na osciloskopu vypadat, jak je uvedeno na obr. 5. Modře je vyznačen signál, který sledujeme na vstupu do UWB modulu. Červeně je vyznačen signál vystupující z UWB modulu ovlivněný modulem zvukový oscilátor (audio oscillator). Tento snímek si také zaznamenejte.



Obr. 5 Správné zapojení sledovaných kanálů na modulu „výběr oblasti“

8. Vytvořte protokol (použijte šablonu ze stránek katedry nebo šablonu z moodlu), kde uvedete následující:

- popíšete použité přístroje (nezapomenout také na SW a použité moduly v zařízení Emona Tims)
- popíšete postup práce a překreslete schéma konečného zapojení
- popište naměřené hodnoty (nezapomeňte do protokolu uvést snímky z osciloskopu)
- pro každou modulaci (PPM, BPM, OPM) si vyberte jeden z druhů pulsů a zachytněte posloupnost logických jedniček a nul a následně vypište tuto posloupnost
- nezapomeňte také uvést odpovědi na otázky již výše zmíněné v zadání
- popište, kdy přesně dochází k vyslání pulsu z modulu UWB
- vysvětlíte vliv signálu z modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na četnost výskytu logických 1 a 0

## 2. Schéma zapojení a použité přístroje a zařízení

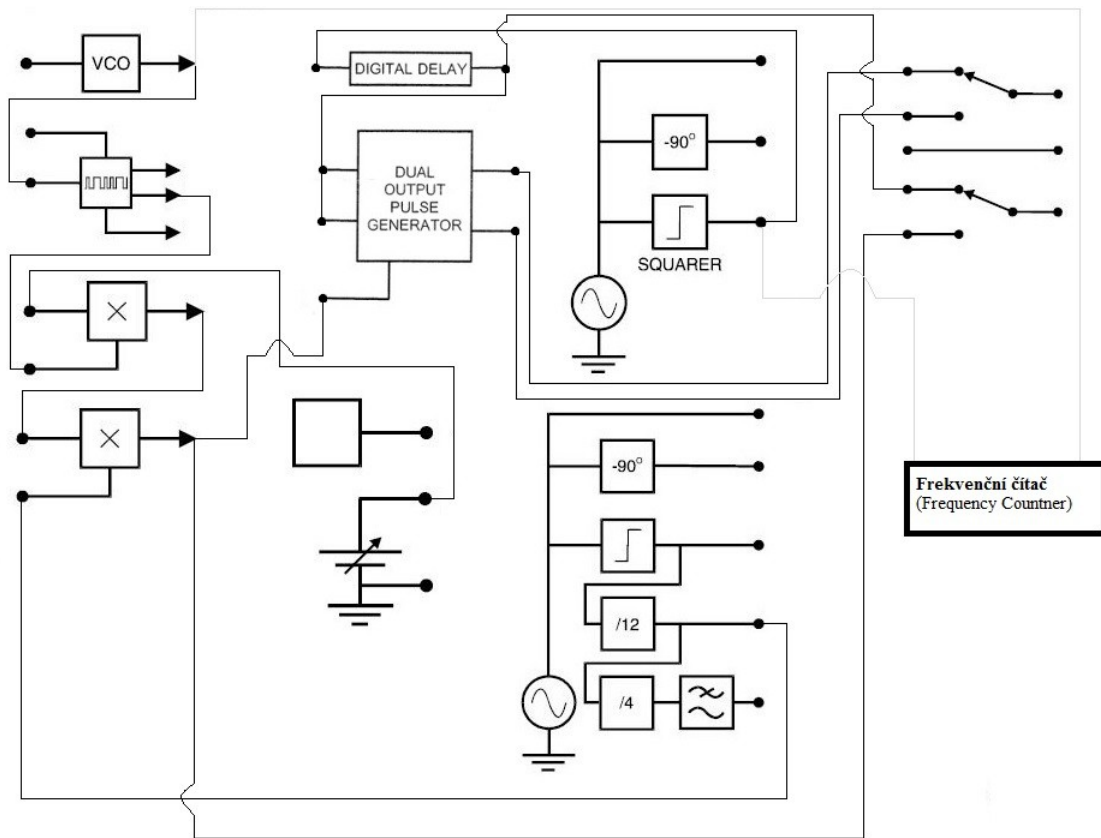
### Použité přístroje:

- Propojovací kabely
- PC se softwarem PicoScope
- USB Osciloskop Pico ADC-200
- Výukové zařízení EmonaTims

### Použité moduly zařízení EmonaTims:

1x VCO, 1x Sekvenční generátor (sequence generator), 2x Násobička (multiplier), 1x UWB, 1x Variabilní DC (variable DC), 1x Vzorové signály (master signals), 1x Výběr oblasti (scope selector), 1x Zvukový oscilátor (audio oscillator), 1x Čítač frekvence (frequency counter)

### Schéma zapojení:



*Obr. č. 6 Schéma kompletního zapojení*

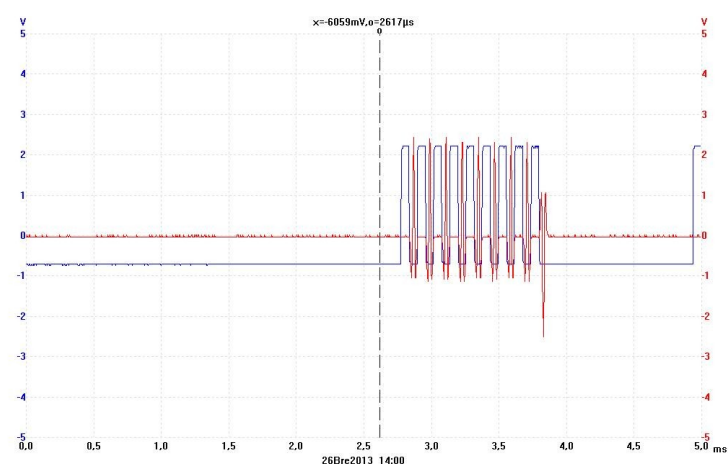
### 3. Postup počítačového návrhu či laboratorního měření

Před samotným měřením jsem důkladně pročetl celé zadání laboratorní úlohy. Následně jsem odzkoušel nastavení modulu UWB, jak je požadováno. Ukázalo se, že nastavení je správné, proto jsem přešel k měření.

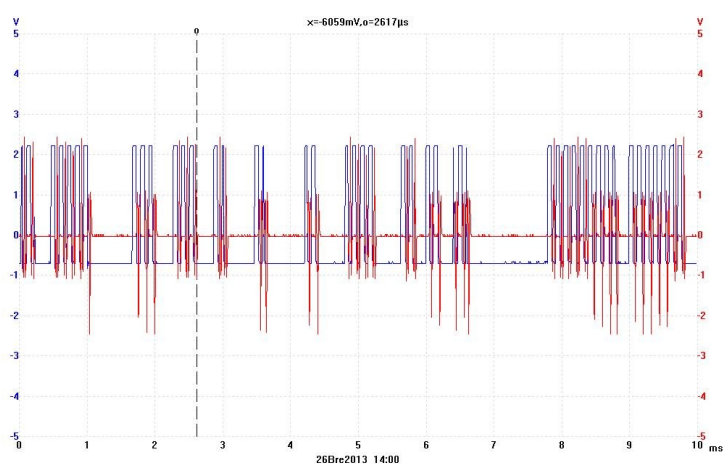
Nejprve jsem sestavil první zapojení, které je uvedeno v zadání úlohy. Výsledný signál odpovídal požadavkům. Následně jsem přešel k dalšímu bodu, zde již schéma zapojení není a pokoušel jsem se na něj přijít sám. To se mi nakonec povedlo a nemusel jsem tedy žádat cvičícího o schéma se zapojením. Dokončil jsem kompletní zapojení dle zadání a přešel jsem k proměřování parametrů. Veškeré naměřené hodnoty a snímky jsou uvedeny v dalším bodě.

#### 4. Nastavené parametry, naměřené a vypočtené hodnoty

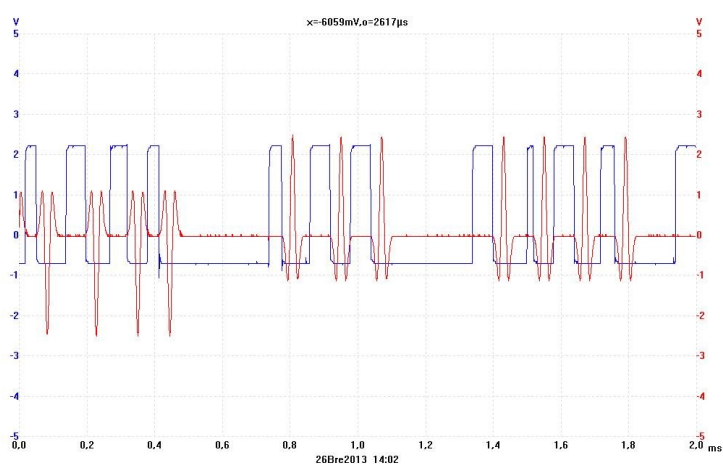
Prvním úkolem bylo zachycení vlivu změny frekvence na modulu VCO na generované pulzy modulem UWB. Červeně je vyznačen pulz z modulu UWB a modře signál TTL vstupující do modulu UWB.



Obr. 7 Nastavení modulu VCO na frekvenci 1kHz



Obr. 8 Nastavení modulu VCO na frekvenci 5kHz



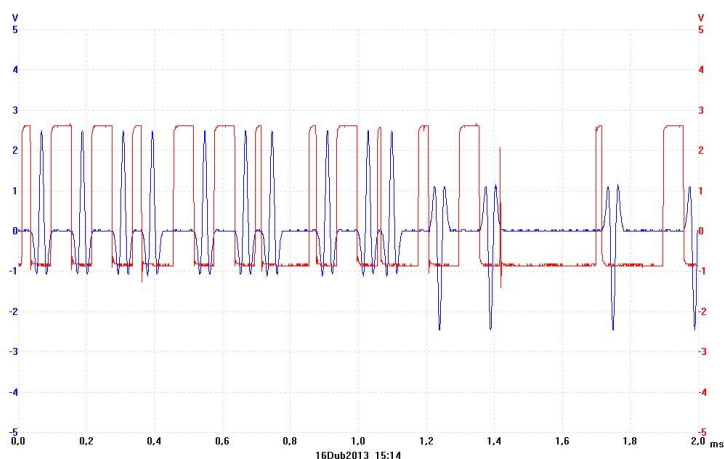
Obr. 9 Nastavení modulu VCO na frekvenci 13,8kHz



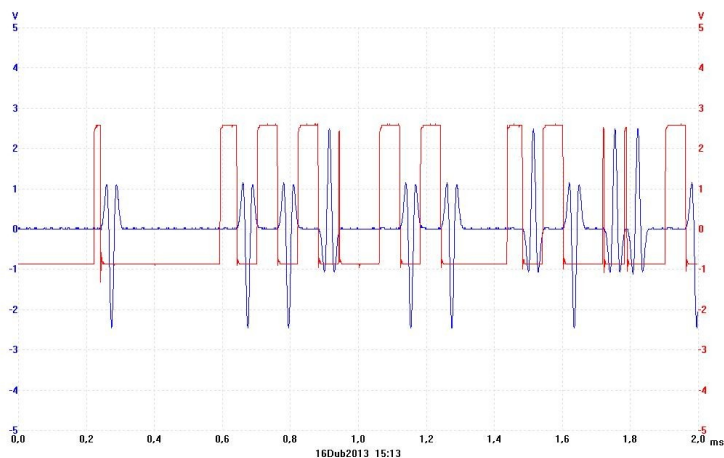
---

Na obrázku č. 9 jsou pulsy patrnější než na předchozích obrázcích. Je to dáno tím, že jsem použil jiné nastavení časového průběhu, konkrétně 200 $\mu$ s/dílek.

Dalším krokem bylo zachycení změny frekvence na modulu zvukový oscilátor (audio oscillator). Červeně je vyznačen kombinovaný signál z modulu UWB ovlivněný frekvencí z modulu zvukový oscilátor (audio oscillator), a modře je vyznačen signál TTL vstupující modulu UWB.

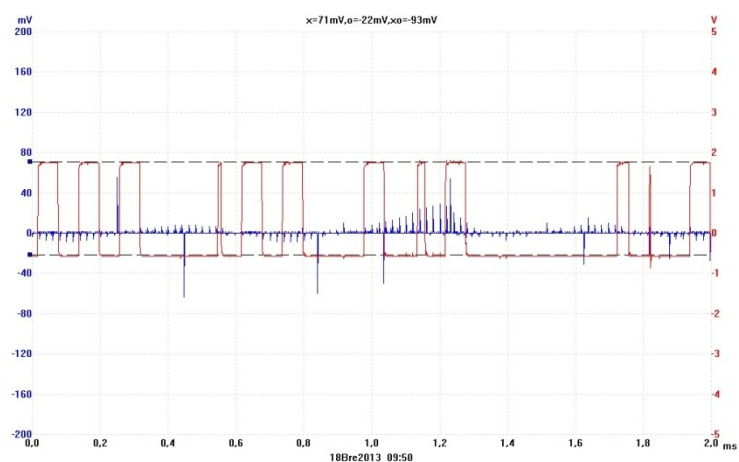


*Obr. 10 Nastavení modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na frekvenci 300MHz*

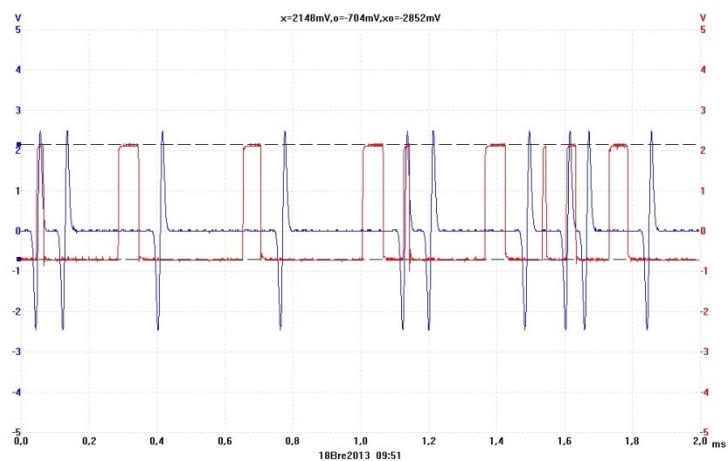


*Obr. 11 Nastavení modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na frekvenci 2,2kHz*

Dále jsem proměřoval změnu nastavení napětí na modulu variabilní DC (variable DC) a jeho následnou změnu na výsledek pulsu.

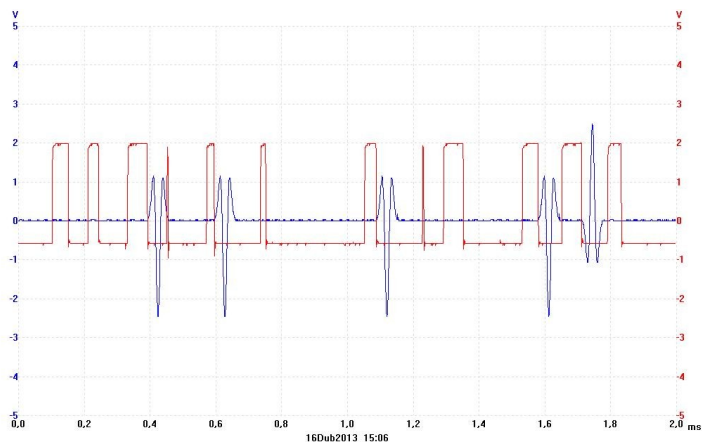


*Obr. 12 Mezní hranice napětí, kdy nedocházelo k vygenerování pulsu*



*Obr. 13 Mezní hranice napětí, kdy došlo k vyslání pulsu*

Na následujícím obrázku jsem nastavil přesně 2V. Je z něj patrné, že nedocházelo k výskytu chyb, puls se vyslal spíše náhodně než pravidelně.

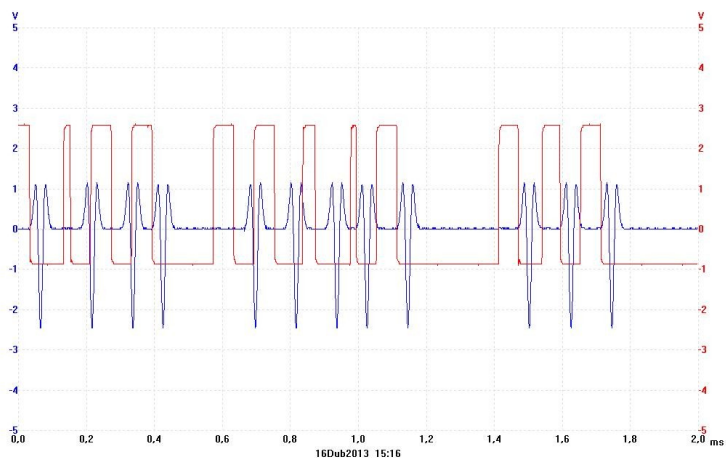


*Obr. 14 Zachycení chybovosti při nastavení napětí 2V*



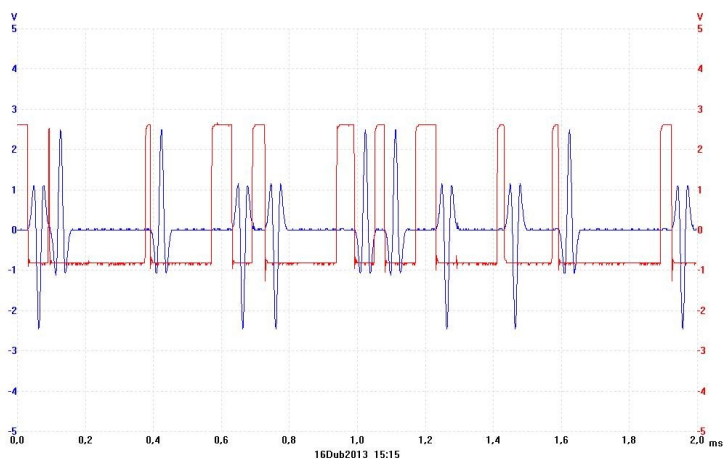
---

Nyní jsem přešel k zachytávání posloupnosti jedniček a nul pro vybrané signály.



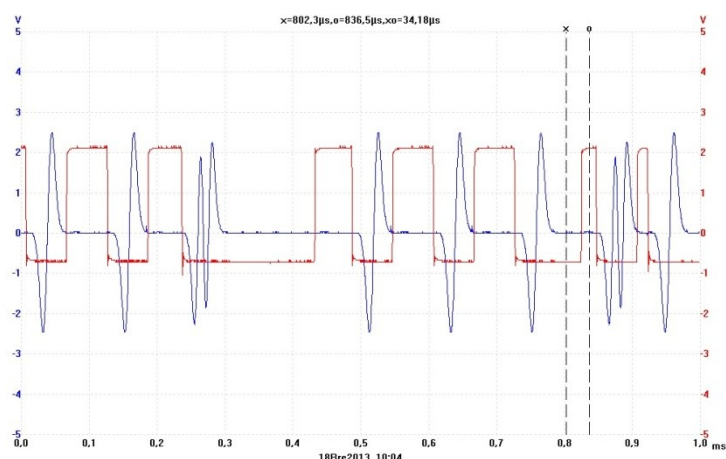
*Obr. 15 Průběh signálu při modulaci PPM*

Posloupnost pulsů uvedená na obr. č. 15 je: **011011100000**



*Obr. 16 Průběh signálu při modulaci BPM*

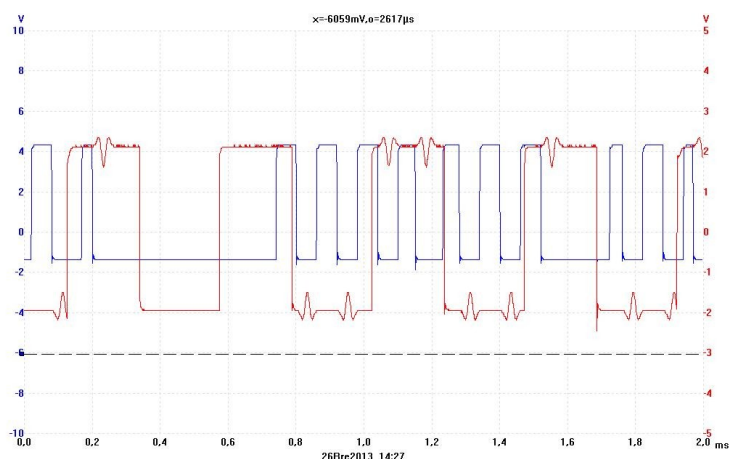
Posloupnost pulsů uvedená na obr. č. 16 je: **10011001101**



*Obr. 17 Průběh signálu při modulaci OPM*

Posloupnost pulsů uvedená na obr. č. 17 je: **00100010**

Posledním krokem v měření bylo zachycení průběhu signálu z modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) a jeho následný vliv na logickou hodnotu vyslaného UWB pulsu.



*Obr. 18 Zachycení vlivu modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na výsledné pulsy*

## 5. Zhodnocení a závěr

Sestavení zapojení šlo poměrně dobře. Po prozkoumání jednotlivých modulů jsem byl schopen sestavit kompletní zapojení bez pomoci, tak aby generovalo správné pulsy. Nejprve jsem sledoval změny pulsů při různé frekvenci na modulu VCO. Při nízké frekvenci, okolo 1kHz se pulsy vyskytovaly s větší časovou odchylkou a spíše po shlucích pulsů než ojedinele. Další proměřovaná frekvence 5kHz ukázala, že vygenerovaný puls je vyslán daleko častěji a již není vyslán v hloučkách. Pro poslední nastavení 13,8 kHz bylo potřeba také změnit časové zobrazení dílků na osciloskopu, aby signál byl patrný. V tomto případě se signál poměrně podobal signálu okolo 5kHz, akorát pulsy byly vysílány s menší časovou odchylkou.


---

Při prozkoumávání vlivu modulu zvukový oscilátor (audio oscillator) na změnu logických jedniček a nul jsem si všiml, že čím větší frekvence, tím jsou změny častější. Je to patrné z výše uvedených snímků, zatímco u nastavení 300MHz došlo na zachyceném snímku pouze k jedné změně, tak u frekvence 2,2kHz bylo změn sedm. Dá se předpokládat, že ještě při vyšší frekvenci by došlo k navýšení.

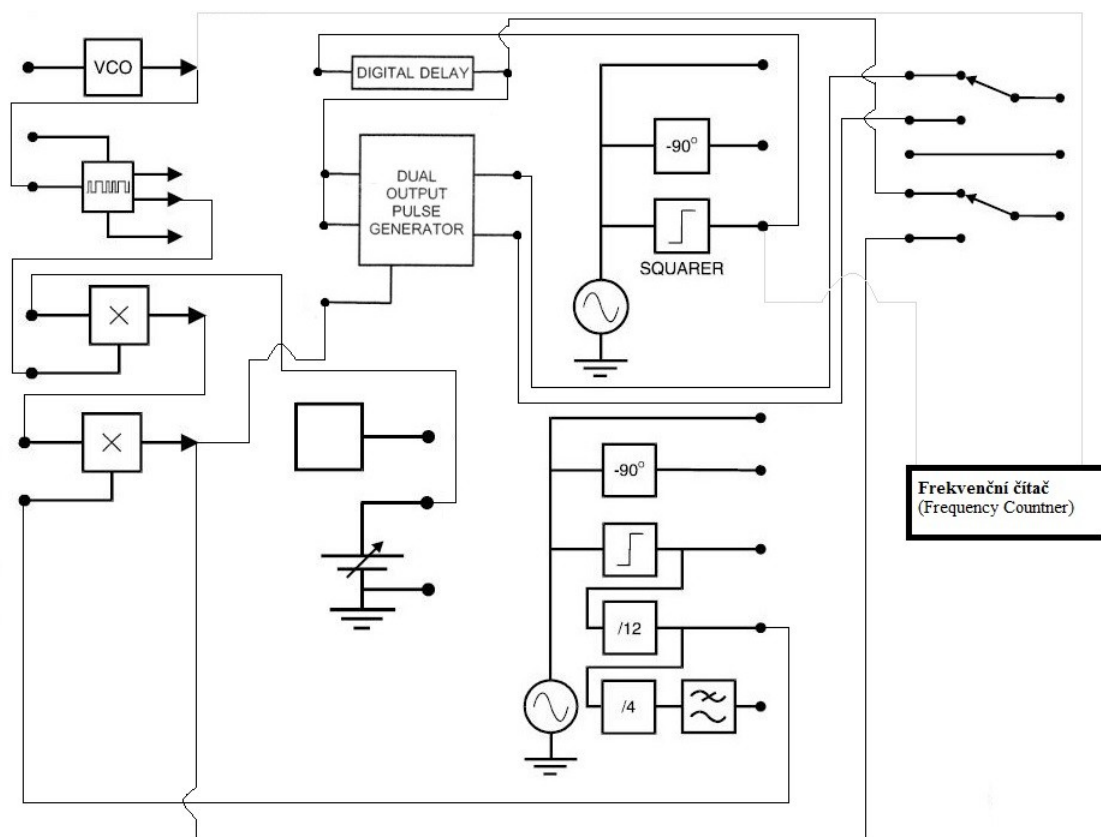
Při měření mezní hranice napětíové úrovně TTL signálu a jeho následný vliv na vyslání pulsu UWB jsem dospěl k závěru, že při hranici 1,8V puls není ještě vyslán. Při hranici 2V je puls již vyslán náhodně a nepravidelně, také tedy zde docházelo k tomu, že se puls nevyslal. Až při nastavení 2,1V byl puls vyslán pravidelně a bez chyb.

Dále jsem sledoval, kdy dochází k vyslání pulsu a jakou má vliv na jeho logickou hodnotu modul zvukový oscilátor (audio oscillator). Toto je dobře patrné z obr. 11. Puls je vždy vyslán na negativní hraně TTL signálu vstupujícím do UWB modulu. Frekvence, vstupující do data ovlivňuje logickou hodnotu pulsu UWB. Při vysoké úrovni TTL signálu je vyslána logická 1 a při nízké hodnotě signálu je vyslána logická 0.

V měření jsem také zachytil určité snímky, jeden pro každý typ modulace a následně jsem pro něj vypsál posloupnosti jedniček a nul, které jsou na zachyceném snímku patrné.

 Katedra telekomunikační techniky	<h1>Přístupové sítě</h1>
Příloha č.: 1	Datum: 12. 4. 2013
Název:	<b>Technologie UWB – Schéma zapojení</b>
Vypracoval: Zifčák Jiří	login: ZIF0005

V případě, že student po 30 minutách nesestaví zapojení a požádá o schéma se zapojením, předejte mu tuto přílohu, kde je vyobrazeno příslušné schéma.



Obr. 1 Kompletní schéma zapojení